改变历史的

100个实验

（套装共2册）





《巴甫洛夫的狗》　《薛定谔的猫》

VISIT...

LANZAROTE Caliente.com

改变历史的100个实验

（套装共2册）





《巴甫洛夫的狗》　《薛定谔的猫》

总目录

巴甫洛夫的狗：改变心理学的50个实验
薛定谔的猫: 改变物理学的50个实验



未读
巴甫洛夫的狗
PAVLOV'S DOG:
Groundbreaking Experiments in Psychology
改变心理学的50个实验
「未读·探索家」·科学的转折书系
[英]亚当·哈特-戴维斯——著
Adam Hart-Davis
张雨珊——译
北京联合出版公司
Beijing United Publishing Co.,Ltd.

版权信息

巴甫洛夫的狗：改变心理学的50个实验

Pavlov's Dog: Groundbreaking Experiments in Psychology

作者：[英]亚当·哈特-戴维斯(Adam Hart-Davis)

译者：张雨珊

出品方：未读·探索家

出版社：北京联合出版公司

Copyright © Elwin Street Limited 2015

14 Clerkenwell Green, London EC1R0DP, United Kingdom

Interior design and illustrations： Jason Anscomb, Rawshock design

Photo credits：Shutterstock.com 13, 14, 85, 127, 164

Simplified Chinese edition copyright：
2017 United Sky（Beijing）New Media Co., Ltd.

目录

引言

1．开端：1848—1919

1881　蚯蚓有智力吗？——达尔文

1896　人能在上下颠倒的世界里生活吗？——斯特拉顿

1898　你家的猫有多聪明？——桑代克

1901　巴甫洛夫按铃了吗？——巴甫洛夫

1910　你能想象出派基番茄吗？——切夫斯·维斯特·派基

2．行为主义的挑战：1920—1940

1920　小艾伯特怎么了？——华生与雷纳

1927　你担心未完成的工作吗？——蔡格尼克

1932　你擅长讲故事吗？——巴特莱特

1938　动物是怎样学习的？——斯金纳

1939　心理学能提高生产效率吗？——罗斯利斯伯格与迪克森

1939　如何民主管理？——勒温等人

3．研究领域的扩展：1941—1961

1948　老鼠可以绘制认知地图吗？——托尔曼

1952　孩子，你在想什么？——皮亚杰

1953　那是什么声音？——海勒与柏格曼

1956　末日已近？——费斯廷格等人

1956　你会向同辈压力屈服吗？——阿希

1959　婴儿如何发展出依恋？——哈洛与齐默尔曼

1960　视觉短时记忆有多短？——斯珀林

1961　攻击行为是习得的吗？——班杜拉等人

1961　要加入我们“帮派”吗？——谢里夫等人

4．思维、大脑与他人：1962—1970

1963　你何时会停手？——米尔格拉姆

1963　盲人可以重见光明吗？——格里高利与华莱士
1965　眼睛真的是心灵的窗户吗？——赫斯
1966　医生，你确定吗？——霍夫林等人
1966　你是空间侵略者吗？——费利佩与索默
1967　如果大脑被切掉一半会怎样？——加扎尼加与斯佩里
1968　旁观者为什么旁观？——达利与拉塔内
1968　心想就会事成吗？——罗森塔尔与雅各布森
1970　婴儿在“陌生情境”下会怎么做？——爱因斯沃斯与贝尔
5．认知革命：1971—1980
1971　好人会变坏吗？——津巴多
1971　你能选出最符合逻辑的答案吗？——沃森与夏皮罗
1973　专业医生能分辨出“真假精神病”吗？——罗森汉恩
1973　奖励真的有效吗？——列波尔等人
1974　你的记忆有多准确？——洛夫特斯
1974　怎么做出艰难的决定？——特沃斯基与卡内曼
1974　你会因为恐惧而爱上一个人吗？——达顿与阿伦
1975　狗会抑郁吗？——米勒与塞利格曼
1976　你能用眼睛听吗？——麦格克与麦克唐纳
1978　是怎样的感觉？失去一半世界——爱德华多·比夏克
6．意识之内：1981—
1983　自由意志真的自由吗？——李贝特等人
1984　“熟”真的能生“巧”吗？——贝里与布罗德本特
1985　自闭儿童眼中的世界是怎样的？——巴伦-科恩等人
1988　祈祷可以治愈病痛吗?——伯德
1993　你脸盲吗？——麦克尼尔与沃灵顿
1994　超感知觉真的存在吗？——本姆与汉诺顿
1995　为什么你总是找不出不同之处？——西蒙斯与莱文
1998　这只假手是你的吗？——科斯坦蒂尼与哈格德
2000　为什么我们无法挠自己的痒痒？——布莱克莫尔
2001　你能品尝出数字7吗？——拉马钱德兰与哈伯德

2007　如何能神游太虚之境？——伦根哈格等人
索引
词汇表
致谢
返回总目录

引言

人类的思想有可能了解其自身吗？也许可以，但却面临着重重困难，这也解释了为何心理学姗姗来迟。化学家和物理学家（也被称为“自然哲学家”）已经出现了几百年，然而第一个自称“心理学家”的人出现的时间距今还不到150年。

当然，人们很早之前就思考过思想和行为这两个概念，古希腊人柏拉图和亚里士多德写下过“心灵”（psyche）一词，这也成为了“心理学”（psychology）的由来。这个词最初的意思指生命或呼吸，后指精神或灵魂（Psyche是希腊和罗马神话中代表灵魂的女神）。如今，我们用“心理”来指代人类思维的各个方面。

那么，思维是什么样子的？它是如何工作的？我们有可能理解它吗？在16世纪，法国哲学家勒内·笛卡儿[(1)]认为身体和大脑只是机器，我们需要思维来思考、感受和做出决定。这个理论被称为笛卡儿二元论，它几乎渗透到心理学的所有方面。即使是非常幼小的孩子，我们也能感觉得到他们在思考，感觉到有一个“自我”存在于他们身体内部。但是，我们对这个世界了解得越多，就越能发现二元论的不合理之处，心理学从最初就一直在努力解决这个问题。

第一个自称为心理学家的人是威廉·冯特[(2)]，1879年，他在德国莱比锡创立了第一个心理学研究实验室，因此被称为实验心理学之父（实验心理学侧重于通过实验来收集经验数据，而不依赖于理论）。伟大的《生理心理学原理》是这个学科的第一本教科书，由威廉·詹姆斯所著，出版于1890年。著名的自然学家达尔文并不认为自己是一个心理学家，但他对“智力”着迷，并对小小的蚯蚓做了为期40年的研究。而在世纪之交，爱德华·桑代克研究出了动物能够在多大程度上进行学习和推理。

20世纪初，“行为主义”崭露头角，它力求使用严格的实验方法，只探索可观察到的事件，并且抵制主观或不可观测的猜想。事后看来，这段时期中出现了许多违背伦理的情况，并且当年的一些实验至今仍存在极大争议。尽管如此，行为主义仍然做出了诸多贡献，也大大扩展了心理学的研究领域，如伊万·巴甫洛夫和他发现的经典条件反射。

“二战”后，让·皮亚杰对儿童的认知发展进行了突破性的研究，利昂·费斯廷格提出了认知失调的概念。20世纪60年代，斯坦利·米尔格拉姆的服从实验受到全世界的关注。20世纪70年代，唐纳德·G.达顿和阿瑟·阿伦提出了性吸引力和恐惧之间具有联系的假设。心理科学逐渐发展壮大，开始影响我们日常生活的方方面面。

上述及其他更多的经典实验将在接下来的内容中一一展示，我们将一同走进心理学的历史，并踏上深入了解自己的旅程。

1．开端：1848—1919

在19世纪以前，几乎从未有人设想过心理学这一概念，但达尔文的开创性探索使人们开始对动物行为及其可能为人类带来的启示感到好奇。在威廉·詹姆斯的《心理学原理》（1890年）出版之后，这种好奇心开始蓬勃发展，并扩展成一门全新的科学。

在接下来的几十年里，爱德华·桑代克探究了动物是否具有学习的能力，伊万·巴甫洛夫因论证了反射性反应可以被训练和操控而被授予诺贝尔奖。这些经典的实验研究为心理学在感知、行为和思维领域的兴起铺平了道路。

1881

研究人员：

查尔斯·达尔文

研究领域：

动物行为

实验结论：

蚯蚓具备初级智力

蚯蚓有智力吗？

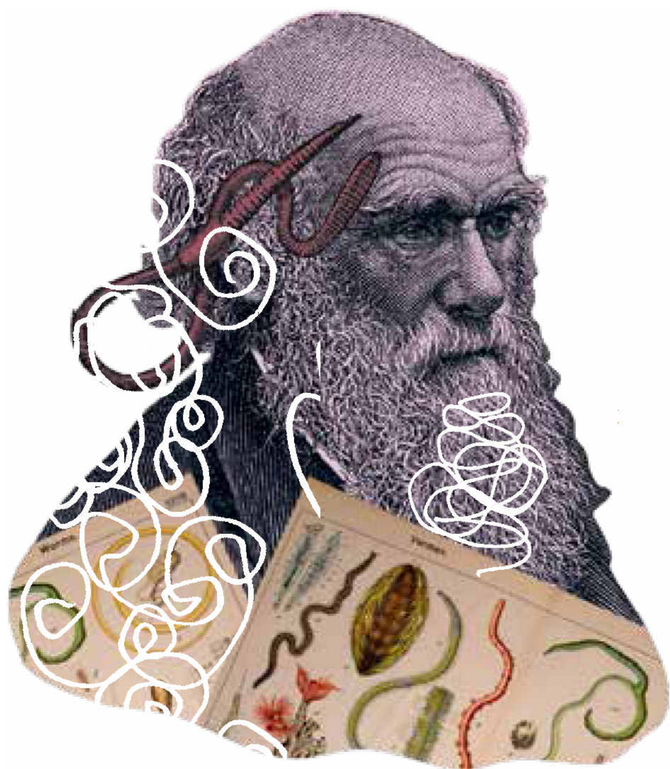
达尔文对蚯蚓智力的深入研究

蚯蚓既没有耳朵也没有眼睛，它们是如何在环境中行动的呢？是通过学习还是通过本能？

查尔斯·达尔文是一名卓越的博物学家。从小藤壶到巨型陆龟，他的研究涵盖了各种各样的动物。1837年，在韦奇伍德舅舅的鼓励下，达尔文开始了对蚯蚓的观察。在这之后，他又在位于肯特郡家中的花园里继续对蚯蚓进行了长达40年的研究。

1881年，达尔文在生前的最后一部作品《腐殖土的形成与蚯蚓的作用，以及对蚯蚓习性的观察》中详细描述了自己的发现。这部作品被他称为“无足轻重的小书”，但出版后的几个星期里就售出了几千本。

蚯蚓将土壤带到地表，掩埋了其他东西，这就是为什么石头会陷进地里。达尔文对这一过程着迷。为此，他在花园里放置了一块“蚯蚓石”（这块石头直到现在仍在那里）。达尔文曾乘火车前往英国的巨石阵，并绘制了简略的示意图。他的示意图显示，巨石阵中的一些大石块已经陷入地里4～10英寸（10.16～25.4厘米）了。



“家庭活动”

-

查尔斯·达尔文是一个顾家的人，他喜欢和孩子一起待在花园里。孩子们是达尔文的研究助手。达尔文让孩子们沿着花坛排成一行，记录他吹哨子时哪些蜜蜂停在哪些花上。这种不寻常的方法帮助达尔文在短时间内收集了大量的数据。

他还招募孩子帮助他进行蚯蚓研究。他在花盆里培养了许多蚯蚓，让孩子们尝试去刺激它们。孩子们试着用灯光照射蚯蚓。因为蚯蚓没有眼睛，在灯光调到非常亮以前，它们并不会产生什么反应。然而，一旦有光照射在身体的后段，蚯蚓便扭动起来。

此外，孩子们还对着蚯蚓吹口哨、喊叫、吹奏低音管、弹钢琴，但它们对此毫无兴趣。相反，如果把蚯蚓放在钢琴上，它们却会在按下琴键的瞬间产生反应——大概是因为虽然它们听不见音符，但它们可以感受到乐器的振动。

本能还是智力？

-

然而，最让达尔文震撼的是蚯蚓所展现的智慧。它们习惯把树叶从外面拖进洞口：

> “蚯蚓把叶子和其他东西拖到洞穴里并不仅仅出于觅食目的，还为了堵塞洞口。这是蚯蚓最强烈的本能之一……我曾经在一个洞口看到过17个铁线莲叶柄，另一个洞口有10个。在许多地方可以看到数以百计的这种被塞住的洞穴，特别是在秋季和初冬季节。”

最令他惊讶的是，蚯蚓在拖拽树叶时几乎总是衔住树叶的尖端。蚯蚓并没有眼睛，达尔文很好奇它们究竟是如何找到叶子尖端的。

他推断，如果蚯蚓是完全通过本能或随机行动，它们只会胡乱拖拽叶子。否则，蚯蚓必须使用智力。达尔文从蚯蚓的洞穴中拔出了227片枯叶，他发现，其中181片叶子（79.7%）是被从尖端拖入洞穴的，20片从底部拖入，而剩下的26片被从中间拖入。

达尔文和儿子弗朗西斯试着把一些叶子的尖端切掉。随后，他们发现蚯蚓会衔住叶柄根部（而不再是叶子的尖端），再把树叶拖进

洞。他们还用其他叶子和松针进行了各种实验，并得出一个结论——蚯蚓似乎总是会做出最“省力”的选择。

为了在控制实验中进一步证实他的理论，达尔文将硬纸裁成细长的三角形，使得它们的形状与叶子相似。然后，达尔文用镊子将这些三角形拉进一根细管中。如果镊子夹住的是三角形的顶角，即最小的角，那么纸片被轻松拖进管中，并在细管内卷成规则的锥形；如果镊子夹的是顶角以下的位置，那么纸片很难被拖进去，而且容易在细管内造成不规则的卷曲。

接下来，他们在几十个这样的纸三角上涂了一层油（防止它们在露水中分解），并撒在草坪上。几个晚上后，达尔文观察到有62%的纸三角被蚯蚓从顶点拖进洞里；对于较窄的纸三角，比例甚至更高。

达尔文与孩子们重复了数百次实验，得出了一个确切结论：

> “通过上述实验中蚯蚓堵塞洞口的方式，我们可以推断出它们具备一定的智力水平。”

1896

研究人员：

乔治·斯特拉顿

研究领域：

知觉

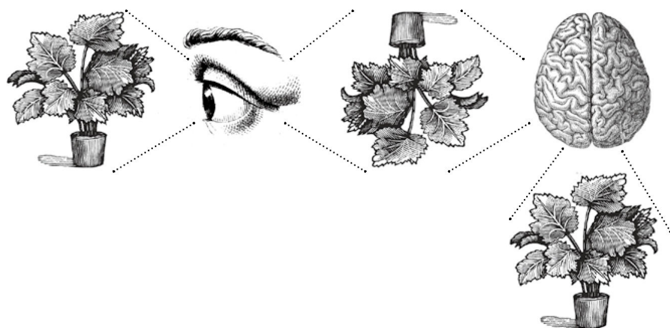
实验结论：

当我们所“看”到的并不“真实”时，大脑会利用知觉适应使我们继续正常工作

人能在上下颠倒的世界里生活吗？

大脑如何解释我们所看到的事物

当我们看着某个东西的时候，它的图像是被颠倒着投影到我们的视网膜上的（就像传感器或者相机里的胶卷那样）。19世纪末，主流科学理论认为，如果我们要用正确的方式“看”事物，这个上下颠倒的过程是必需的。然而，美国加利福尼亚州伯克利的一位心理学家乔治·斯特拉顿，质疑了当时的主流观点，并且他还很好奇：如果将一个人的视野上下颠倒，他能否继续生活？于是，他制作了一副“迷你双筒望远镜”。透过这副望远镜，他看到的一切事物都是上下颠倒的，这样，呈现在他视网膜上的图像便是“正”过来的，或者按照他的说法，是“正确”的。

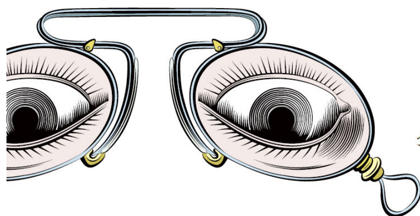


你所看到的物体在视网膜上呈现的是一个“上下颠倒”的像，经过大脑的处理后，你才能感知到“正确”的图像。

将世界倒转过来

-

斯特拉顿将两个屈光度相同的凸透镜放置在小筒中，镜片之间的距离等于它们的焦距之和。通过这个小筒看到的物体都是上下颠倒的。他将两个这样的小筒安装在一起，每个眼睛一个，并将整个装置绑在头上。他小心地规避来自外界的其他光线，并用黑色的布和软垫挡在双筒镜的边缘。他连续10个小时戴着这个装置，然后闭着眼睛取下它，随后戴上眼罩，这样一来，他便看不到任何东西。他在完全的黑暗中度过了一夜。



第二天，他重复这一过程，整天戴着双筒镜，并小心地确保任何事物都是透过它看到的。这副双筒镜呈现出清晰的视野，并且佩戴起来十分舒适。起初，他希望能够同时使用双眼，但应对两个独立的图像很难；于是他用黑色的纸盖住左筒的末端，单独使用右眼。

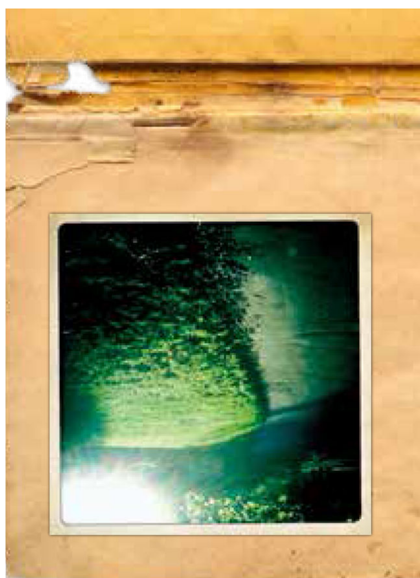
起初，似乎一切都是颠倒的。房间是倒置的；当他的手从下方抬起进入视野时，却从上方出现了。尽管这些图像是清晰的，但它们好像并不真实，不像我们正常看到的那样，而是“错位、虚假或虚幻的图像”。斯特拉顿发现，自己正常视觉的记忆依然是大脑用来理解眼前事物“是否真实”的规范和标准。

记忆或现实

-

斯特拉顿刚开始尝试戴着装置走动时，频繁地出现失误和摔倒。只有当他的行为有触觉或记忆作为辅助时，他才能够勉强完成行走和手部的运动——“就像一个人在黑暗中行走那样”。

斯特拉顿将问题归结为由经验产生的阻力，他推断，如果一个人的视觉从一开始就是上下颠倒的（或者至少花了相当多的时间用这种方式观察世界），那么这个人就不会觉得这一切是“不正常”的。因此，他又将实验继续了几天，到了第七天时，他宣称与之前相比，现在的他更加适应颠倒的景象。他记录道：“现在，我看到的一切感觉无比真实。”



上下颠倒的图片或许使人十分困惑，但在这张图片里，你依然能分辨出夏日傍晚的落日。

适应视觉景象

-

尽管当下所身处的颠倒世界“无比真实”，但斯特拉顿仍因为在该环境下动作困难而感到挫败。他已经掌握了如何向“错误的”方向移动，但他仍然发现自己的深度知觉和距离知觉存在误差：“我的手经常移动太远或不够远……”当要与朋友握手时，他会把手抬得太高，或者，当需要掸掉纸上的灰尘时，他又发现手移动得不够远。

除此之外，他还观察到，当他看着自己的双手时，手部的运动还不如他闭上眼依靠触觉和记忆引导来得准确。

尽管如此，他还是逐渐适应了上下颠倒着生活，在某天晚上散步时，他开始享受夜景的美丽——这是从实验开始以来的第一次。

斯特拉顿得出了结论：图像以怎样的方式出现在视网膜上并不重

要——大脑会将你的视觉与你的触觉和空间意识相匹配，通过所谓的“知觉适应”来应对它。

1898

研究人员：

爱德华·桑代克

研究领域：

动物行为

实验结论：

没有证据表明动物可以运用推理或记忆来学习

你家的猫有多聪明？

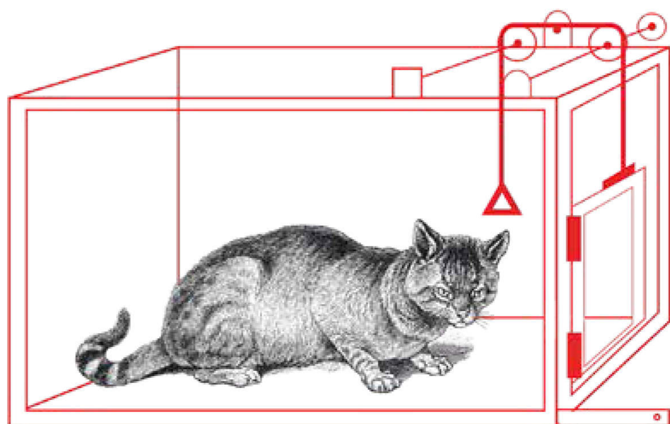
桑代克的迷笼实验

爱德华·桑代克在23岁时撰写了第一篇有关行为学的研究报告，为之后的几代人，特别是斯金纳奠定了基础。实验中，他将一只饥饿的猫放在一个箱子里，然后把食物放在箱子外“可望而不可即”的地方。如果想吃到食物，猫只能通过操作一些机关来打开箱子。桑代克一共制作了15个这样的箱子——从箱子A到箱子O。箱子A是最简单的，猫仅仅需要按压一个杠杆就能够打开箱子。到了下一个箱子，猫就需要拉动一个绳圈才能打开它，等到了后面更复杂的箱子，猫不仅要按压杠杆，拉绳子，还要拨倒一块木板。

桑代克在几只猫身上做了同样的实验，他将猫一次又一次地放在同一个箱子里，记录它们每次逃出箱子所花费的时间。他在笔记中记录道：“猫起初通常是试图从任何缝隙中挤出去，或是试着通过乱抓乱咬逃出去。”除此之外，他还观察到，猫并不怎么在意食物，它们

似乎只是“本能地奋力逃出监禁”。

然而，当猫被再次放入同一个箱子里时，它逃跑的效率似乎变得更高——“渐渐地……在经过许多次实验以后，猫一旦被放进箱子，就会立刻目的明确地去按按钮或抓绳子。”在最简单的箱子里，一只猫第一次逃跑花了160秒，但经过了24次实验之后，它就能在6秒内逃脱囚笼。依照实验的次数与所耗的时间，桑代克绘制了相关图表，图表不仅证明了猫的逃脱速度会随着实验次数的增加而加快，而且还表明了机关更复杂的箱子会让猫更加“情绪化”，从而找到出路的时间变得更长。



这只猫逃出牢笼的唯一办法是去拉动位于它头部上方的绳子。

桑代克还发现猫会获得学习经验。从箱子A中“抓”到出路的猫，被放入另一个箱子时，会“本能地从一开始就到处抓”，并且几乎不再试图从缝隙中挤出去。

猫可以思考吗？

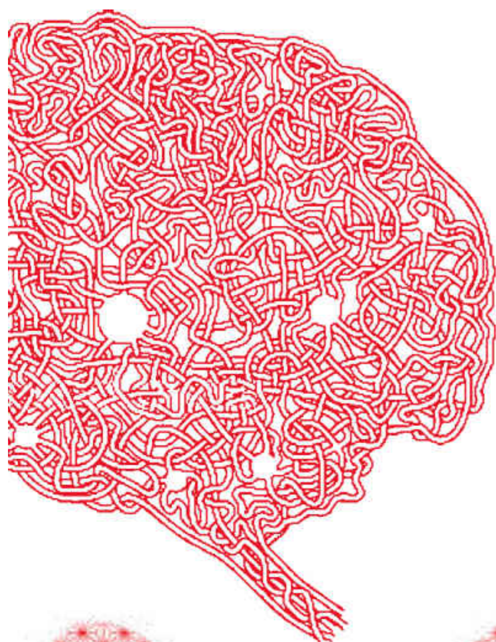
-

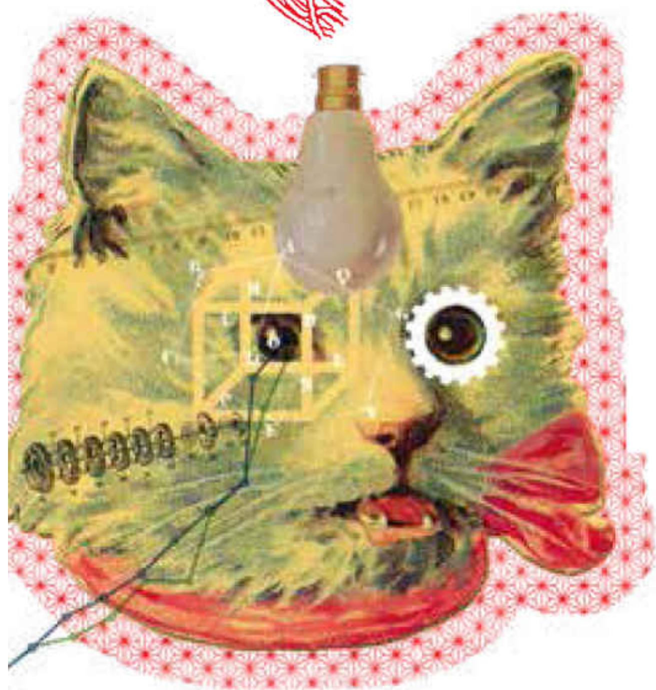
19世纪许多人认为较高级的动物，比如猫，可以通过联想来学习，因为它们会在日常做出略显聪明的趣事。桑代克对此深表怀疑，

他写道："成百上千只猫在那么多情况下只是无助地嚎叫，然而并没有人在意……但只要有一只猫抓住了门把手，释放出一个要出去的信号，这只猫便立刻在所有书中成了头脑的代表。"

桑代克还探究了猫可否通过模仿来学习，他让一只猫看着另一只猫从箱中逃脱。然而，当第二只猫被放进箱子时，它仍然一次次地尝试和犯错，经历了与第一只猫同样缓慢的学习过程。

桑代克得出结论，没有切实证据表明动物可以通过推理来学习。猫在箱子里的行为与推理差得很远——它"只是疯狂地挣扎想要出去"。即使它这次确实成功地逃了出去，下一次逃脱时，仍然似乎不记得任何技巧，花费大量时间尝试其他方法。此外，一只猫如果学会了通过拉动绳圈来逃脱，即使把绳圈拿走，它也会徒劳地继续在空中抓来抓去。桑代克记录道："（我）拿着猫的爪子，放在绳圈里，然后拉动绳子，但猫依旧无法学会这个技巧，下一次逃脱时依旧毫无头绪。"





小狗与小鸡的实验

这位年轻的科学家也给小狗和小鸡制作了同样的“迷笼”。小鸡通常只需要踏上一个平台，拉一根绳子，或者啄一个大头钉就能成功逃跑。但在最复杂的实验中，小鸡需要爬上一个螺旋楼梯，奋力钻过洞，然后走过一个水平的梯子，最后跳下架子。与猫一样，小狗和小鸡也可以通过练习进步，但是小鸡的学习速度比猫和小狗都要慢。桑代克在论文中写道：“这一初步研究若能得到后人更为精密、细致的改进，将得到极具价值的结果。”

事实确实如桑代克所言：他的研究为行为主义心理学这一新兴学科奠定了坚实的基础。

1901

研究人员：

伊万·巴甫洛夫

研究领域：

动物行为学

实验结论：

条件反射可以引起动物对其他中性刺激的强烈反应

巴甫洛夫按铃了吗？

习得反应和经典条件反射

19世纪末到20世纪初，俄罗斯生理学家伊万·巴甫洛夫是消化研究领域的先驱，经常以狗作为研究对象。巴甫洛夫注意到，当穿白色衣服的助理还在给动物递送食物时，动物们就已经开始垂涎欲滴。

基于多年的研究经验，巴甫洛夫知道唾液的分泌是食物或异物进入口腔时身体所做出的一种反应（通常是一种无意识的、对外部刺激的即时反应），目的在于消化、稀释或排出异物。

巴甫洛夫将这种反应称为“心灵的分泌”，并记录道：“当（食物及其容器）放置于狗的较远处时，类似的分泌会被引发，此时受到影响的只有嗅觉和视觉的感受器官。即便是盛放过食物的碗也能够引发完整的唾液反射。”

不仅如此，巴甫洛夫还观察到，无论助手带不带食物，一旦助手进入房间，狗就会立即开始分泌唾液——“仅仅是看到曾经拿过碗的人，或是听到了他的脚步声，也有可能引发唾液的分泌。”巴甫洛夫认为，狗已经学会将助手或是他的白色外套，与食物的到来联系起来，所以每当狗看到助手，就预先开始分泌唾液。

巴甫洛夫想知道，他可否通过使用与食物没有任何关系的信号使狗分泌唾液。于是，他使用了一个节拍器——在狗的食物要被送进来时，节拍器就会开始嘀嗒作响。果然，在短短几天后，巴甫洛夫只需要启动节拍器，狗就会分泌唾液，即使随后根本没有食物出现。他详细地描述了其中一个实验：

> “只要不施加特别的刺激，唾液腺便保持不活跃状态。但是当节拍器的声音出现在（狗的）耳边，唾液便会在9秒后开始分泌，并在45秒中分泌11滴。因此，唾液腺的活动可以通过声音的刺激发挥作用——这种刺激与食物完全无关……节拍器的声音就是食物的信号，动物对信号所做出的反应和对食物的反应相同；目前并没有观察到动物对节拍器声响与真实食物的反应存在显著差异。”



巴甫洛夫还尝试了其他的刺激：比如电子蜂鸣器的声响、香草醛的气味，可能还有铃声（尽管一名同事声称巴甫洛夫从未使用过电

铃）。巴甫洛夫甚至还使用了电击。在每个实验中，潜在刺激必须在食物出现之前几秒钟施加——如果潜在刺激出现在食物之后，哪怕只是晚一秒，刺激都不会引发动物的任何反应。

自然反应和条件反射

-

巴甫洛夫指出，从每条狗出生开始，食物就会引发唾液反射，这是一个自然的，或者说是无条件的反应。而由节拍器的声响引发的唾液分泌被称为条件反应或条件反射。巴甫洛夫将此与他新安装的电话做了一个比较：

> “我的住所通过一条专用线路与实验室直接相连……或者还有另一种可能，即我的住所通过中央交换机，再连接到实验室。但是，这两种方式所得到的结果是相同的。两者唯一的区别在于，专用线路提供了一条永久易得的电缆，而另一条线路需要先建立起与中央交换机的连接……我们在反射行为中面临的情况与此相似。”

次级条件反射

-

当狗已经开始对条件刺激做出反应，即可引入次级刺激。因此，节拍器在食物到来之前要反复作响，直到狗在声音的作用下分泌唾液。然后，一个电铃与节拍器一同作响，于是，狗不仅仅分泌唾液，还会将铃声与食物联系在一起。所以，当只有铃声单独响起时，狗也会分泌唾液，即使单独的铃声并不代表会有食物到来。

整个过程被称为“经典条件反射”，为后续许多关于行为和学习的研究奠定了基础，其中包括了富有争议的小艾伯特实验。

1910

研究人员：

玛丽·切夫斯·维斯特·派基

研究领域：

认知与感知

实验结论：

在想象时，大脑很难将心理表象与真实感知区分开

你能想象出派基番茄吗？

感觉、记忆与想象的区别

1910年左右，美国心理学家玛丽·切夫斯·维斯特·派基进行了一系列巧妙的实验以探索想象的工作机制。首先，她比较了真实图像与心理表象，或者，用她的话说，比较了感知到的图像与想象出的图像。

她让被试看着一个小小的磨砂玻璃屏幕，告诉被试注视屏幕中心的白点，并同时想象一个彩色的物体，比如番茄或是香蕉。然后，在被试看不见的地方，一个投影机开始偷偷在屏幕上投射微弱的彩色光斑，光斑十分微弱，以至于几乎无法察觉。同时，投影机和屏幕之间还放置了一个番茄形状的纸板模型。这样，一个非常微弱的红色番茄图像便出现了。

一开始，实验人员用薄纱使纸板的边缘变得模糊，所以图像并不清晰，同时模板从一侧缓缓地移动到另一侧，这样它看起来在微微抖

动。渐渐地，薄纱被一点点拿开，图像变得更清晰了一些，但仍然非常微弱。这时，被试需要向实验人员报告刚才他在心里想象的是什么。

红番茄之后呈现的模型是一本蓝色封面的书，然后是深黄色的香蕉、橙子，绿色的树叶，以及浅黄色的柠檬。

这些装置的前期准备较为困难。早期原始的投影机很难用，而且操作投影机和移动模具的两个实验助手必须全程保持安静，同时还要和与被试坐在一起的主试沟通。偶尔也会发生一些小意外，像是挡板掉落，或者是一缕光线照到了屏幕上——那次实验便只好作废。

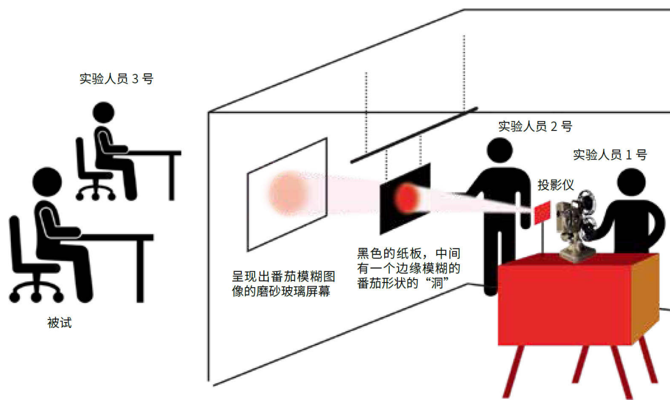
现实还是想象？

-

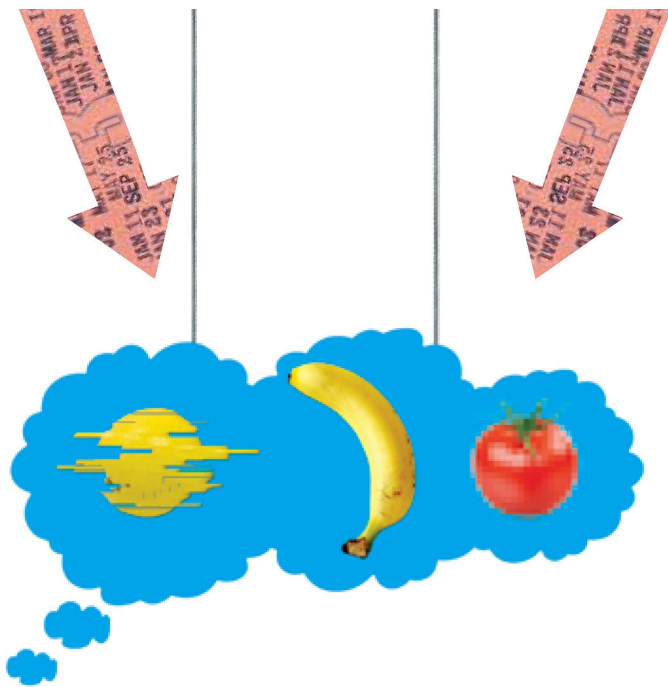
参与实验的24名被试的报告都与假设相同，即他们想象出的彩色物体与呈现的纸板模型是一样的。但是，他们全都是等到图像明显到足以被看见（至少对于研究者而言）的时候才报告的。

所有被试都被询问是否“确定想象到了这些东西”。对于这个问题，被试们都很惊讶，甚至有时会感到愤怒，并且十分肯定地认为自己想象出了对应的物品，他们说：

·我想象出了它，这完全是我的想象。
·我在脑海中形成了这些图像。
·香蕉是竖立的，我当时一定认为它正在生长。



派基的实验设置



事实上，一些人在说出香蕉是直立的，而不是像他们起初以为的那样平放着之后表示了惊讶——但这也没有引起他们的疑心。一名研究生甚至提供了额外的“画面”：一颗画在罐头上的番茄，一本可以读出标题的书，一个放在桌子上的柠檬。

这一实验表明人们很难区分感知和想象——即看到的事物与想象出的事物。这一现象被称为派基效应，直到今天依然适用。

想象表象和记忆表象

-

在派基接下来的一系列实验中，她试图区分想象出的心理表象和被记忆影响的心理表象。她观察到，如果试图创造出一个与自己有关的心理图像，比如她的卧室或她的家，就必须去记忆中搜寻，并且在思考时，她的双眼会像真的在寻找某一对象那样移动。然而，当她想象一些与个人无关的东西时，比如一棵树或一条船，图像由想象力创造，她就不会移动双眼。在执行不同的任务时，她的大脑似乎以不同的方式运作。

现在的心理学家们可以使用激光眼动仪来验证这个理论，但在1910年，激光还未被发明出来，于是派基不得不设计另外的实验来探寻眼球的运动。

坐在黑暗房间中的被试被要求分别想象与个人有关和无关的物体，想象的同时注视着面前墙上的一个亮点。在他们的视野之外还有几个其他的亮点。在426次实验中，212次是记忆表象，其中90%的被试报告看到了额外的亮点，这表明他们一定移动了眼睛。

剩下的214次是想象表象，其中68%的被试没有眼动。这里的眼动似乎是因为图像中有跑着穿过场景的动物，或者由于想象的场景太宽，必须要移动眼球才能看到。偶尔，被试会在心理表象中“看到自己”——“船上有一个人，应该是我自己”。

派基还发现，当表象是从记忆中提取时，声音表象会引起喉部运动，气味表象也会令鼻孔运动。但如果表象是由想象创造的，则不会出现这种情况。

派基写道："记忆的情境是熟悉或再认，有一种内在的愉悦感，而想象的模式是不熟悉或新奇的。"她认为记忆涉及眼动和一些身体运动，而想象需要固定视线，不存在运动。此外，记忆表象是零乱的、模糊的，不会出现残留影像，而想象表象是稳定的、完整的，有时存在残留影像。



2．行为主义的挑战：1920—1940

在桑代克和巴甫洛夫的研究成果广为人知以后，心理学家对人类和其他动物的行为越来越感兴趣。各种各样卓越的实验塑造了心理学这门科学（尽管其中的一些实验按照如今的标准而言太过残忍，比如约翰·B.华生[3]用小艾伯特做的经典条件反射实验）。伯尔赫斯·弗雷德里克·斯金纳[4]或许是所有行为心理学家中最为著名的一位，他设计了巧妙的测试，来观察老鼠与鸽子是如何学习的。在柏林，“格式塔”流派的心理学家们试图理解人类在混乱的世界中获得意义感的能力，在美国，科学家们在工厂中不断寻找提高效率和生产力的新方法。商业心理学也在这一时期诞生了。

1920

研究人员：

约翰·B.华生

罗莎莉·雷纳

研究领域：

行为学

实验结论：

所有个体的行为差异都是来源于不同的条件操控与学习经验

小艾伯特怎么了？

对人类经典条件反射的探究

艾伯特·B，即人们口中的“小艾伯特”，是一个性格温和、快乐、健康的婴儿，他9个月大，重21磅（9.45千克），几乎一生都住在医院里，他的母亲是该院的一位乳母。

1919年，心理学家约翰·华生和他的研究生罗莎莉·雷纳开始着手探究人类是否也会像巴甫洛夫的狗那样，对条件刺激做出反应。华生假设婴儿对大分贝噪声的恐惧就像狗分泌唾液一样，是与生俱来的先天反应。因此，他按照经典条件反射的规律推测，与噪声不相关的其他对象也可以通过某种方式引起婴儿的恐惧。

华生和雷纳选择了小艾伯特作为他们的被试。起初，他们拿给小

艾伯特一只活的白鼠，然后又拿来了兔子、狗和猴子，以及其他各种东西。在这个阶段，小艾伯特似乎想要掌控它们，但他没有表现出任何恐惧的情绪，也没有哭。

接下来，华生和雷纳在小艾伯特的脑袋后面用锤子击打钢棒，制造出响亮并吓人的噪声。他们在笔记中记录道：

“婴儿开始激动，一瞬间屏住呼吸，用特别的方式抬起手臂。第二次刺激时，同样的情况发生了，另外婴儿还瘪了瘪嘴，嘴唇微微颤抖。第三次刺激时，婴儿突然爆发大哭。第一次，实验室中的情绪情境让艾伯特感到恐惧并哭出声来。”

经典条件反射

-

他们接下来探究的是，可否通过在视觉呈现的同时击打钢棒来让小艾伯特对动物，特别是白鼠，形成恐惧的条件反射，以及这种由条件反射建立的恐惧能否转移到其他的动物身上。

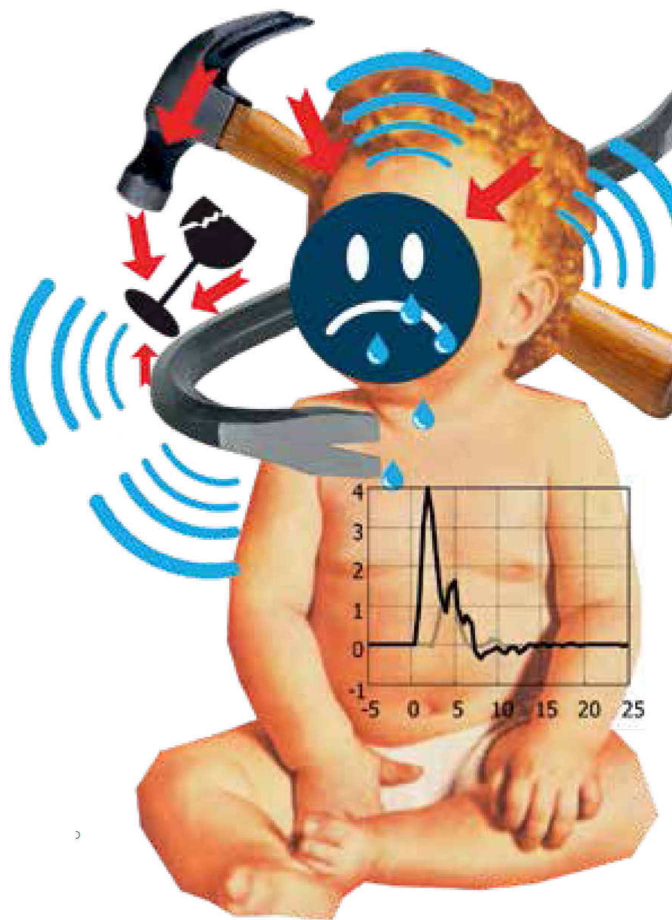
建立条件情感反射的过程如下：

1．实验人员将白鼠从篮子里拿出来后，立即呈现给小艾伯特。他开始用左手触碰白鼠。就在手碰到动物的那一刻，钢棒立刻在他脑后敲响。婴儿猛地跳起来，向前摔倒，脸埋进了床垫里，但他没有哭。

2．在小艾伯特的右手碰到白鼠的一刻，钢棒再次敲响。他再次跳起来，向前倒下，并开始呜咽。

实验人员重复了三次，即把白鼠拿给艾伯特并敲击钢棒。这时，小艾伯特只看到白鼠也会开始呜咽。然后他们又用白鼠和噪声对小艾伯特进行了两次刺激，最后，“只要白鼠一出现，婴儿就开始哭。他

几乎立刻就……开始爬得飞快，以至于在他爬到桌子边缘时我们差点没能拉住他”。就像这样，对噪声的自然反应变成了对白鼠的条件反射。



反应的扩大

-

　　几天后，小艾伯特仍然害怕白鼠，但他在其他情况下看起来是愉悦的，脸上也有笑容，基于这一发现，华生和雷纳想知道小艾伯特对

白鼠的恐惧是否会转移到其他毛茸茸的动物身上，于是他们开始将兔子拿给他。小艾伯特尽可能躲得远远的，泪水夺眶而出。看到狗时稍微好一点，但他依然会呜咽，甚至会被棉花团吓到。

研究人员继续用白鼠和狗对小艾伯特进行条件刺激——一旦动物靠近他，实验人员就敲打钢棒。一个月之后，小艾伯特继续对白鼠和兔子表现出痛苦的反应，面对狗时也有不适。

该实验在当时极富争议，并因为结论的有效性和伦理问题遭受了大量批判。毋庸置疑，这样的实验在今天是被禁止的，并且，也有人对小艾伯特母亲当时是否对实验给予正式同意提出了怀疑。在大胆冒险的背后，华生对被质疑的伦理问题记了一小笔：“最初尝试时，我们十分犹豫……我们对实验过程负有一定的责任。”但很快，他就从“一旦儿童离开了托儿所的温室回到困苦混乱的家庭环境中，这样的联结一样会出现”的观念中得到了“安慰”。



华生还记录道，他曾经想过做“分离”或脱敏的尝试——即去除条件情绪反射——但在这之前，小艾伯特就被从医院中带走了。

直到最近，人们才开始尝试联系当年的那个小艾伯特，所以我们没有证据可以证明上述条件反射一直在持续（也没有证据证明它仍然存在着）。艾伯特·巴杰曾是可能性最大的一个候选人，然而在他于1987年去世之前，并没有任何人联系到他。

但他的侄女说，他一直都很讨厌狗。

1927

研究人员：

布尔玛·蔡格尼克

研究领域：

认知与记忆

实验结论：

比起已经完成的任务和事件，人们更容易记住（更难忘记）那些还未“结束”的

你担心未完成的工作吗？

蔡格尼克记忆效应

20世纪20年代，布尔玛·蔡格尼克是一名在柏林实验心理学院工作的立陶宛心理学家。一天，库尔特·勒温教授发现一名服务员可以记住所有尚未支付的账单，但是一旦人们付了款，他就立即忘记了。这一事件引起了蔡格尼克的好奇。

于是，蔡格尼克开始调查。她给164个独立的被试分配了22个简单的任务，比如写下以L开头的城市的名字，制作黏土模型，或用纸板建造纸箱，等等。当被试的任务完成到一半时，蔡格尼克打断了他们。在此之后，她发现被试记住了68%的未完成任务，但只记住了43%的已完成任务。

有一些被试是在一项任务快要完成时被打断，这些人回忆起了

90%的未完成任务。相对于已经圆满完成的任务，我们记住未完成的任务的能力要强得多，希望看到任务完成的愿望也更强烈。这种现象被称为“蔡格尼克记忆效应”，存在于我们生活中的诸多领域。例如，有200名学生在考试后发现，相对于正确回答的题，他们更容易记住答不上来的题。

显而易见，我们可以接连几天担心尚未完成的任务，只是因为它尚未完成。这就是为什么电视和广播台的连续剧的制作人常常使每集的结尾留有悬念：它可以让观众在下一集播出之前不停地琢磨那个问题。

蔡格尼克记忆效应可能得出的一个有趣结论是，因为无关之事（体育或社交）而中断学习的学生，实际上或许要比那些从未停止学习的学生更好地记住他们的学习任务；也许“只工作不玩耍，聪明小孩也变傻（All work and no play makes Jack a dull boy）”这句话确实是真的。然而，值得一提的是，这一点并不适用于那些根本还没开始学就“自行中断”的学生们。



中断带来的挫败

-

1992年的研究表明，中断任务会影响被试对于完成任务所需时间的估计。被试被要求破解10个由三个字母组成的字谜：GBU、TEP、ARN、FGO、OLG、UNF、TAS、TOL、EAC、UNP。随后，实验人员要求被试估测完成任务所需的时间。结果表明，被试们估测的时间都不到实际所耗时间的10%。

接下来，实验人员要求被试破解20个三字母字谜：EDB、ANC、YDA、ODR、OTE、UME、ADL、XFO、DLI、XEA、PZI、AEG、ARO、BTI、SYE、NIF、GRA、FTI、DCO、ILE。

任务中途，实验人员要求被试估计任务已经进行了多长时间。被试的估计要比实际时间长65%。随后，被试们完成了任务，并再次被要求估计下半场所耗的时间。这一次，他们估测的时间只比实际所耗时间高35%。

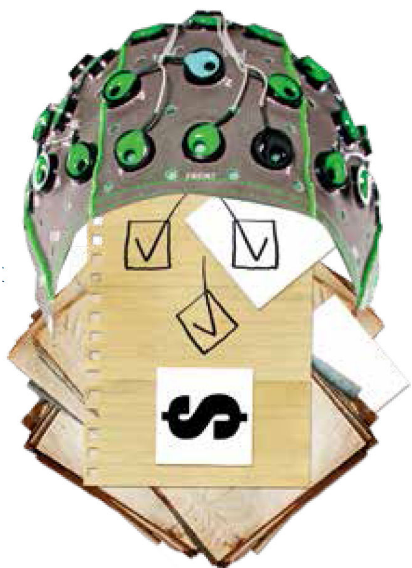
第一次估测的时间如此之长大概是因为被试因任务中断而挫败，并体会到失败的感觉，这似乎会让他们感觉自己比实际要慢。

终止任务会有帮助吗？

-

蔡格尼克认为，依照格式塔理论中“闭合”的概念，“完成任务”对于我们而言是一种自然而然的需求。也就是说，一旦我们开始一项任务就会觉得有必要完成它。完成的任务是一个完整的格式塔，这时我们可以不再思考它。没有按指示完成任务会使我们紧张，这种紧张迫使我们不停地去思考还未完成的任务，直到完成任务这一原始需求得到满足。蔡格尼克写道：

> “压力系统所产生并持续的紧张强度在不同个体之间有显著差异，但对于同一个体而言却几乎保持恒定。个体需求越强烈、满足需求的意念越急迫、能够采用的“简单粗暴”的方法越多，未完成的任务在记忆中占据的比重就越大。”



拿了钱就走人？

-

然而，密西西比大学在2006年的一项研究表明，涉及金钱交易时蔡格尼克记忆效应或将迅速失效。40名大学生被要求进行一项五分钟的任务，并同时测量“大脑半球的活动”。其中一半的学生在事前被告知可以得到1.50美元的奖励；但另一半并不知道奖金这回事。规定时间过去了一半，大学生们被告知“大脑半球活动的记录”已经完成。知道会有奖金的学生里有42%的人立即放弃了任务，拿钱走人。然而在不知道有奖金的另一半被试中，只有14%的人在任务完成前选择离开。

1932

研究人员：

弗雷德里克·巴特莱特

研究领域：

认知与记忆

实验结论：

记忆不是对静态事实的简单重现，而是一个运用想象和思考的积极过程

你擅长讲故事吗？

长期记忆的准确性

作为对记忆机制长期研究的一部分，剑桥大学第一位实验心理学教授弗雷德里克·巴特莱特测试了人们记忆数字、图像和故事的能力。20世纪20～30年代，他让被试阅读和复述各种短篇小说，他最喜欢的是下面这个加拿大民间故事：

《幽灵之战》

-

一天晚上，两个来自艾古拉克（Egulac）的年轻人打算沿着河流猎捕海豹。他们到了那里，天空中弥漫着雾气，周遭安静。接着，他们听到了隆隆战吼，心想："可能是一支军队。"于是他们逃到岸边，

躲在一个原木的后面。这时，一群独木舟出现了，他们听到船桨划水的声音，随后一条独木舟来到了他们面前。独木舟上有五个人，他们对这两人说："我们将沿河而上，同人类开战，打算带你们一起走，怎么样？"其中一个年轻人说："我没有箭。""独木舟上有箭。"他们回答道。"我不会跟你们走的。我可能会因此而丧命，我的亲人却不知我身处何方。但你，"他转向另一个年轻人说道，"你或许可以跟他们走。"于是，其中一个年轻人跟他们走了，另一个回了家。战士们沿河而上，前往地处卡拉马（Kalama）另一头的一个小镇。人们下到水中作战，许多人丧了命。交战时，年轻人听到一个战士说："快，我们赶快回家吧，那个印第安人已经被打中了。"年轻人听闻心想："哦，天哪，他们是鬼。"年轻人丝毫没感觉到疼，但他们却说他中弹了。于是，独木舟回到了艾古拉克，年轻人上了岸，回到了自己的房子，生了一堆火。他告诉众人："看哪，我与鬼同行去打仗，许多兄弟被杀了，许多攻击我们的人死了，他们说我被打中了，但我却并没有感觉到什么。"他讲完发生的一切后没有再说话。太阳升起时，他倒下了。黑色的东西从他嘴里冒出来。他的脸变得扭曲。众人被吓得跳起来哭喊。他死了。



不完全的回忆

-

巴特莱特请第一名被试阅读上述故事，让他凭记忆讲给第二名被试，然后第二名被试凭记忆再讲给第三名被试，以此类推，直到故事被重复七遍。实验的效果类似于儿童游戏“传声筒”——消息从一个人传递到另一个人，并随着人们的传递出现错误或改变。

不出所料，随着讲述和重述，故事出现了变化，失去了细节。被试们都是年轻的英国人，他们不熟悉故事的风格和内容，所以他们犯了很多错误，尤其是坚持缩短故事，删去细节。另一方面，故事变得更加连贯——这被巴特莱特称为“合理化”——它仍然是一个说得通的故事。这个故事变得更加英国风，被试们从自己的文化背景中加入词语和想法。例如，一些被试把“猎捕海豹”记成了“钓鱼”，把“独木舟”记成了“小船”。他们也忘记并排除了对他们没有意义的元素。

巴特莱特的另一个实验是要求一名被试阅读故事，重述它，然后在不同的时间段（也许是半个小时、一个星期或三个月）之后再次重述。这种实验取得了类似的结果。

“图式”

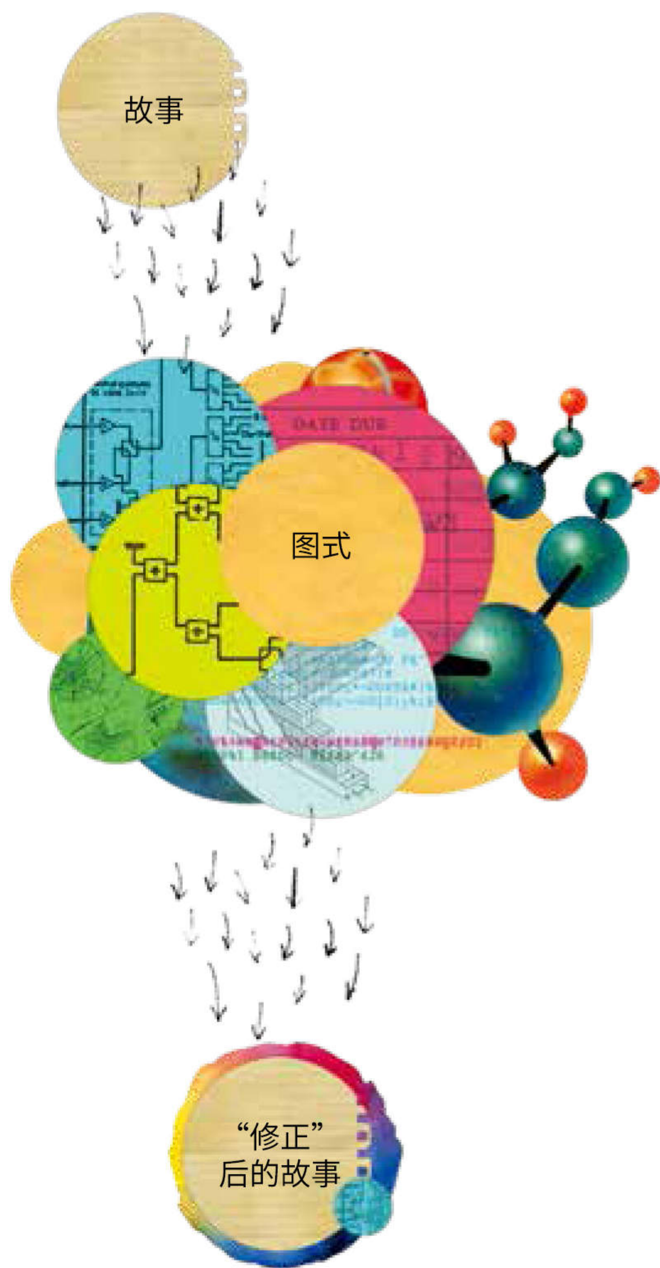
-

巴特莱特认为长期记忆由“图式”组成，每个图式是“一群被组织起来的经验”，或“由过去的反应、过去的经验组成的一个活跃组织”，他认为“过去是有组织的整体，而不是一组各自保留其特定的性质的元素”。

他因此得出结论，所有新的输入信息与图式中的旧信息相互影响，从而形成修正过的图式。他提出，记忆不是从架子上取得静态事实的过程，而是一个积极的能动过程，它与想象和思考没有根本上的不同。因此，提取回忆不是一个复制的过程，而是一个会在新的文化

背景中重建的过程，会构建出“被赋予意义的成果”。在记忆类似“幽灵之战”的故事中必然会有错误，因为故事不可避免地要基于被试过去经验中的一般符号被重新诠释。巴特莱特用网球比喻他的新发现。他说，球拍的每次击打都不会产生全新的东西，但也不是过去的简单重复。球拍的击打完全是由当下的活跃视觉和姿态图式以及它们的相互作用制造出来的。

巴特莱特的图式说在当时没有被广泛接受，但最近却受到青睐，特别是在计算机科学家马文·明斯基倡导的人工智能领域。


故事
图式
“修正”
后的故事

1938

研究人员：

伯尔赫斯·弗雷德里克·斯金纳

研究领域：

动物行为学

实验结论：

正强化比惩罚更有效地塑造行为

动物是怎样学习的？

“操作性条件反射”和正强化

在桑代克和巴甫洛夫的开创性工作之后，美国心理学家伯尔赫斯·弗雷德里克·斯金纳采取了更科学的方法来研究动物的学习。他认为，试图理解动物想要做什么是没有意义的，他更想看到动物在实验室控制条件下的测试中实际做了什么。

他观察到人类似乎会从行为的后果中学习，会重复能得到奖励的行为，比如在学校努力学习。斯金纳想知道动物是否以相同的方式学习，以及通过研究动物，是否可以揭示人类学习的基本原理。

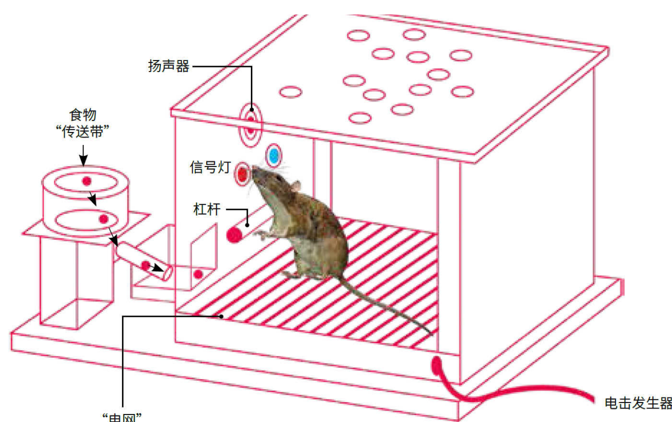
操作性条件反射

-

斯金纳把一只老鼠放在一个有杠杆的箱子里，只要按压杠杆就会

得到食物。老鼠首先只是在箱子中跑来跑去，一旦它偶然按下杠杆，就会发现有食物到来。这是最直接的正强化。很快，老鼠明白了按下杠杆就能得到食物，它开始每分钟按压五次杠杆。

斯金纳只描绘了他观察到的，却从来没有说老鼠因为想要食物而学会了按杠杆。斯金纳解释说，是行为，而不是老鼠，被积极强化了（有时候这种强化是消极的，比如惩罚）。他将这个过程称为操作性条件反射，因为老鼠不是从任何刺激，而是从自己的行为中学习。斯金纳的"操作性条件反射"与巴甫洛夫和华生的经典条件反射不同，它的操作对象是环境，而不是实验对象的反射行为。



"连锁"

-

斯金纳箱类似于桑代克的迷笼，但更复杂，并且与自动录像设备相连接。所以他不必拿着记录本坐在那里就能确切地知道老鼠按压杠杆的频率。

在另一个实验箱里，只有杠杆被压下十次后食物才会被分配，但是老鼠很快就学会了这样做，并且之后它们比在"每次都有食物"的箱中更频繁地按压杠杆。

渐渐地，斯金纳使他的箱子更精密，老鼠需要完成更多困难的任务。在某些情况下，他使用厌恶刺激，老鼠在箱子旁边徘徊时，可能会突然被巨大的噪声轰炸，但当它偶然碰到杠杆时，噪声被关闭了。在这样的过程中，老鼠学会了一进箱子就立刻按压杠杆。在另一个箱子里，老鼠学会了灯泡一亮起就去按压杠杆，否则它们随后便会受到电击。

斯金纳发现老鼠可以学习执行一个由简单动作组成的复杂系列，只要它们一次学一个。例如，老鼠可以学习当蜂鸣器响起时转圈，在灯亮起之后按下杠杆，这样食物就会出现。斯金纳称这个过程为“连锁”。

用鸽子代替老鼠

-

斯金纳用鸽子做了同样的测试，并发现它们可以学会啄在墙上的一个红色斑点来获得食物。事实上，哪怕鸽子并不是每次都能获得食物，而只是有时获得食物，它们也会去啄斑点。斯金纳指出，这就像沉迷老虎机[(5)]的赌徒。赌徒学会了将硬币放入机器，拉动杠杆，便会偶尔得到奖金，他只是希望奖金足够多，以补偿投入的金钱。

斯金纳发现，像老鼠一样，鸽子可以学习执行复杂的任务，例如转圈，然后啄靶子，只要每个步骤都能得到强化。

正如斯金纳所言：“行为的后果决定行为再次发生的可能性。”他坚信，遵行他的法则，便有可能创建一个乌托邦社会——所有行为都是好的，每个人都会是快乐的。在他1948年出版的小说《瓦尔登第二》中，他描绘了一个美妙的社区，人们每天只工作四小时，享受极好的娱乐，对环境负责，并且享有两性之间的完全平等。

1939

研究人员：

弗里茨·罗特利斯伯格

威廉·J.迪克森

研究领域：

社会心理学

实验结论：

关注工人的想法和感受可以提升生产效率

心理学能提高生产效率吗？

霍桑效应

伊利诺伊州西塞罗的霍桑工厂是西方电气公司在1905年建立的一个巨大的工厂。1924年，他们的电气供应商声称，更好的照明将提高生产率，霍桑的经理便委托专家进行研究，确认这是否属实。

实验人员来到了工厂，计算了生产率，将劳动力分为实验组和对照组，然后谨慎地增加实验组的光照水平。令研究者惊讶的是，两组的生产率都有所提高。然后，他们使实验组的工作场所逐渐变暗，直到工人们开始抱怨看不到自己在做什么，两个组的生产率同样提升。甚至当他们把光照水平恢复到初始水平时，生产率也会提升。

实验人员产生了兴趣，他们尝试以其他各种方式改变工作环境。

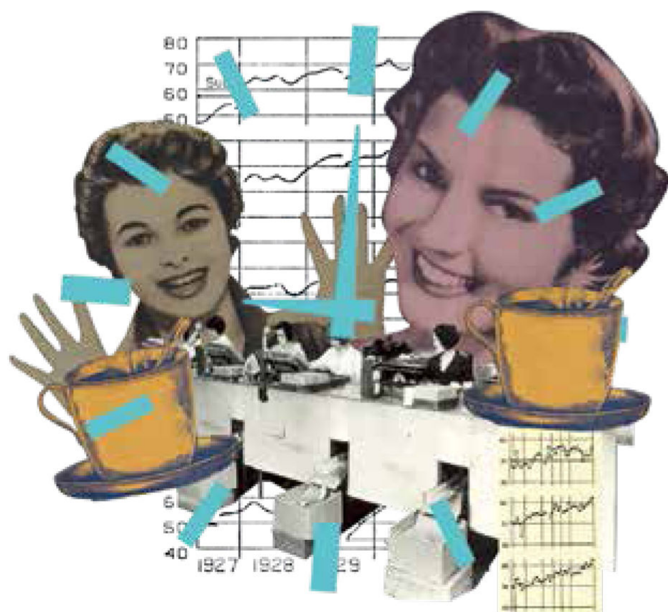
继电器实验室

-

继电器（电话交换机的开关装置）的装配是持续时间最长的研究——制作继电器需要重复将35个锁钉、弹簧、电枢、绝缘体、线圈和螺钉手动组装在一起。西方电气公司每年生产700万个继电器，单个工人的速度决定了整体生产水平。

实验人员选择了两名女性，邀请她们再选择四个人来组成一个团队，并将她们安排在一个单独的实验室。在这里，一个实验人员与她们讨论变化的情况，有时会采纳她们的建议。

实验人员想知道这些女性在长时间工作中是否会疲劳，并因此减缓工作速度。所以他们建议在白天有两次5分钟的休息，经过讨论，女工选择在上午10点和下午2点休息。她们对休息的机会非常感激，尽管有人认为时间太短。



实验者发现生产率有所提高，随后他们提供了10分钟的休息时间。一些女工人开始担心她们无法补上休息耗去的时间，但实验人员建议她们工作得更快一些，因为她们休息之后就不会那么累。更长的休息时间让女工更加开心，并生产了比以往任何时候都更多的继电器。然而，当实验人员将休息时间改为6分钟后，生产率下降了。

实验人员将工作时间缩短半小时，同时在上午15分钟的休息时间里提供午饭，产量有所增加；他们再次缩短半小时，结果是每小时产量增加，但日产量下降。然后他们把工作时间恢复到原来的时长，产量达到了最高水平，增加了30%。

最后一组实验是给接线车间的14名男性提出了计件工资制度。令人惊讶的结果是生产率没有提高，实验组中的男工人们为自己制定了一个“规范”，并继续以同样的速度工作，尽管工作更多可以拿到更多的报酬。

实验人员发现，几乎他们所做的所有事情都带来了生产率的临时增加，除了提供更多的报酬。一种可能的解释是，工人当时认为自己被“特别关照”。让他们选择自己的同事，作为一个团队一起工作，还被特别地放到一个只有他们自己的实验室里，这些行为某种程度上激励了他们。

结论

-

从实验中可以看出，生产效率取决于工作组中的非正式的互动。此外，这个团体还要有一个关心工人和有同情心的主管来为他们的意见提供反馈。实验中的一个女工人特丽萨·莱曼·扎伊克（eresa Layman Zajac）后来说：“我没想到会发生这么多事，有这么多人看着我们。”另外一种可能的解释是，工人想要取悦实验人员，这是心理实验中经常会出现的情况。

霍桑工厂的主管乔治·彭诺克说道：

> “……这些女孩建立了自信积极友好的关系，这样一来，她们几乎不需要任何监督。无论有没有督促，她们都可以被信赖并做到最好。她们说，与以前的情况相比，她们并没觉得现在工作得更快。她们感觉，产量的增加在某种程度上与更自由、更快乐和更愉快的工作环境有关。”

霍桑工厂中发生的一切证明，如果管理层尊重工人，把工人作为人来对待，而不是作为操作机器的附件来对待，生产率便会提升——关注个体和文化价值观的企业将比那些没这样做的企业成功。20世纪30年代，这样的想法给社会带来了全新的冲击。

1939

研究人员：

库尔特·勒温

罗纳德·莱皮特

拉尔夫·K.怀特

研究领域：

社会心理学

实验结论：

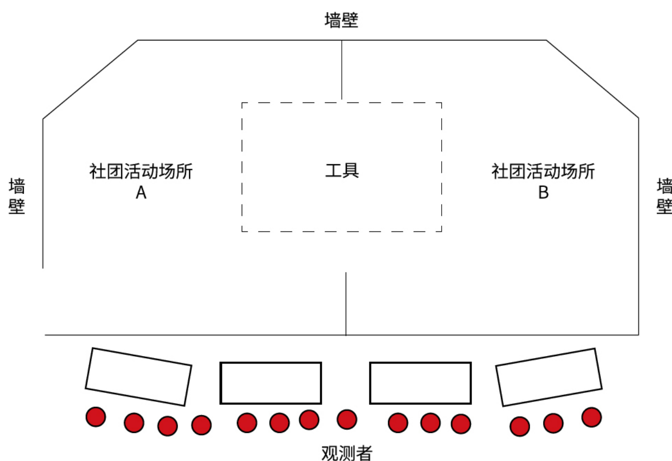
有效民主需要积极主动的团队管理，而不是无限的个人自由

如何民主管理？

对领导风格和优秀管理策略的探索

心理学家的先驱者库尔特·勒温在1933年逃离纳粹德国并前往美国后写道：

> “……刚刚抵达的、来自法西斯欧洲的难民带着绝望与希望、好奇心和怀疑观察着美国。人们为民主而奋斗，为民主而死。它究竟是我们最宝贵的财产，还是一个愚弄人们的词语？”



勒温想知道真正的民主究竟为何，以及如何组织它。于是，他建立了一个“实验室”。实际上，这个“实验室”更像是一个孩童的小窝：阁楼上的空间，可以坐的木箱，四周包围着的各种“垃圾”——主要是建筑设备——被粗麻布围起来。它拥挤、无纪律、非结构化，但充满乐趣——与一个干净的教室正好相反。

勒温招募了一群10～11岁的孩子，并将他们分为四个社团，每个社团每周都要举行一次例会。在一位成年领袖（实验人员之一）的帮助下，孩子们被要求制作戏剧面具，为实验室制造家具和粉刷标志，切割肥皂和木头，并建造飞机模型。换句话说，他们的社团也是他们的车间。

勒温试图通过使用不同风格的领导，形成不同类型的社会气氛——儿童群体将经历某一种风格的领袖，然后换另一个，如此几个星期。十几个研究人员坐在黑暗的角落，记录孩子们彼此间如何互动，以及和领导人如何互动，勒温秘密地录制整个过程。



三种领导风格

-

第一个领袖是严格的，他一步一步告诉孩子们该怎么做。孩子们很少知道最终计划是什么。他告诉每个孩子应该做哪些任务，以及他们应该在哪里工作——大多时候在地板的中央。他总是站在同一个地方，穿着西装，打着领带，并处于团体之外。

第二个领袖建立了“民主氛围”，在实验过程中，整个社团提前讨论了所要做的项目，并做出了决定。孩子们选择了自己的工作组。当征求他们的建议时，领袖会提出两个或三个选项供他们选择。他完全客观地赞美或批评孩子们的表现。他是团体中的一员：他脱掉夹克，卷起袖子，和孩子们一同在房间中走来走去，尽管他基本起不到什么实际作用。

第三个领袖只是静静地坐着，让孩子们自己做自己的，几乎不去干涉。这时，无秩序的混乱状态出现了。正如拉尔夫·K.怀特后来所说：“小组开始分崩离析。有几个孩子是真正的捣蛋鬼，他们发现了一个很好的捣蛋机会，这对于实现目标根本没有帮助。”

实验结果

-

第一个政权出现了无尽的麻烦。严格的领导造成极度紧张的气氛，孩子之间爆发了争论和打斗。他们显然不开心，经常因错误而互相指责。一次例会后，他们砸了一直在做的面具。罗纳德·莱皮特指出：“他们不能打领袖，但他们可以（打）面具。”

在民主气氛中，孩子们工作起来更快乐、更积极、更没有攻击性。在社团工作时，他们拥有更高的生产力和更丰富的想象力。

在自由放任的社团中，孩子们很少专注于他们的任务，而是在房间里四处闲逛或者捣乱。

因此勒温认为，民主永远不会来自无限的个体自由，它需要强大、主动的团队管理。

结论

-

勒温的实验表明，民主行为可以在一个小群体中产生，这引发了焦点小组和团体治疗的概念。更重要的是，它表明领导力应该是一种可教授的技能，并不仅仅与魅力或军事实力有关系。

3．研究领域的扩展：1941—1961

第二次世界大战之后，心理学家们关注的领域有所扩展，研究聚焦的范畴从人类和动物的行为拓宽到包括心灵研究的实践性结果。一系列关于心理学对教育是否有助益的问题涌现出来，于是，研究人员们设计出了各种研究儿童如何思考的方法。科学家们测试了动物是否可以解决问题，并思考了这些答案对人类的互动意义。纯粹的“思维”不再是唯一重要的议题：情感的和社会的行为成了心理学的相关范畴。在这些情境下，又有一些新的问题涌现：如何追查情绪这种如同母亲对孩子的爱一样基本的东西？我们可以相信两个完全不同或相互矛盾的现实吗？为什么服从对我们如此重要？侵犯是一种天性吗？

1948

研究人员：

爱德华·托尔曼

研究领域：

动物行为学

实验结论：

老鼠具备潜在学习能力，并且可以记住细节，表现出认知行为

老鼠可以绘制认知地图吗？

隐藏的、潜在的或偶然的学习

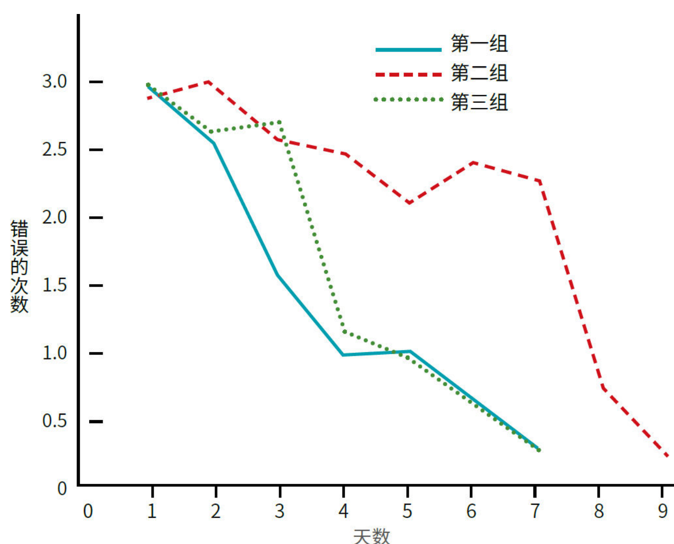
著名的行为主义学家斯金纳说过，思考动物在想什么或想要什么是没有意义的，你只能去看它们对于刺激是如何反应的。加州大学伯克利分校的教授爱德华·托尔曼对此存疑。他想知道动物到底可以思考多少东西，以及它们存留在记忆里的是什么。

像斯金纳一样，托尔曼和他的学生为老鼠建造了迷宫，但他们设计的是能显示出老鼠的思维——认知行为的特别的迷宫。其中第一个是在水平面上由T字形交叉路口连接的一系列窄通道（平面图示见第50页上方）。

老鼠被分成了三组。每天一次，每只饥饿的老鼠都会被放在迷宫的左下角，并且需要找到通往右上角的路。在途中，它会来到6个T形路口，并且它需要每次都做出正确的选择，所以它有6次犯错误的可

能。

第一组中的老鼠总是在迷宫的终点发现食物颗粒。结果是他们每天更快地通过迷宫，到第七天，根本没有错误的转弯，你可以在下一页的图中看到（图表显示每组老鼠所犯错误的平均值）。



延迟奖励

-

六天以来，第二组的老鼠都没有在终点发现食物，所以，没有激励它们动作快一点的诱因。它们在迷宫中徘徊，每天在转弯处做出各种各样错误的选择，但是在第七天结束时，它们发现了食物，在随后的日子里，它们都会在终点发现食物。在第八天，它们只错了一次。在第九天，它们直接找到了食物，没有犯错误。第三组在第三天结束时找到食物，在此之后它们可以迅速地找到通往食物的路线。

这里的重点在于，第一组花了七天的时间来探索出直接通往食物的路线。然而，一旦知道了有食物在终点处等着它们，第二组和第三组的老鼠只花了两三天的时间。因此，在它们早些时候的徘徊中，即

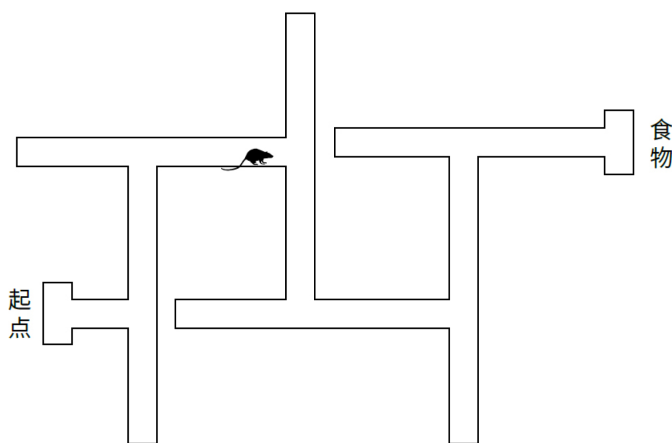
使并不急着到达终点，它们也一定已经形成了迷宫的“心理地图”（或“认知地图”）。老鼠在先前形成了认知地图的事实并不明显，直到找到食物的那一瞬间，它们的“学习成果”才被揭示。这是隐藏起来的学习，也被称为“潜在学习”或“偶然学习”。

二维地图

-

托尔曼指出，这种“管状地图”本质上是一维的，老鼠只需要在每个路口学会“向右走”或“向左走”。他试图探究老鼠能否在两个维度上形成“心理地图”，于是，他建造了一个更复杂的迷宫。

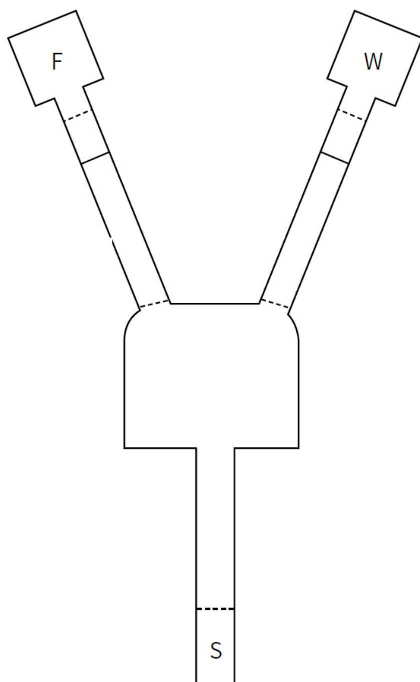
当他用更复杂的迷宫取代了简单的，大多数老鼠都选择了可以通往食物之前所在的地方的路线。换言之，它们不只是学会了“左、右、右、左……”，而是已经弄懂了相对于它们起始位置的方向，或者是相对于它们所处空间的方向。



有6个T形交叉路口的迷宫

托尔曼略带遗憾地描绘了另一个由他人设计的更为精巧的实验，肯尼思·W.斯宾塞和利比特使用了一个简单的Y形迷宫，如下图所示，食物在左分支的末端，水在右分支的末端，老鼠被放置在Y字形的底

部。这些老鼠之前已经获得过食物和水，因此它们并没有在迷宫中吃东西或喝水。



Y字形迷宫

接下来的实验最为关键：动物被分成了两组，一组饿了（但不渴），另一组渴了（但不饿）。当被放入迷宫时，饥饿组的每只老鼠都直接前往食物所在地，口渴组的老鼠直接去喝水。这表明它们一定之前在心里制作并存留了迷宫的认知地图，即使当时它们既不饿也不渴。

所以，当你下一次制定了从自己卧室到门口，或是从超市到火车站的最佳路线时，请记住，老鼠（以及其他动物）或许也和我们一样运用着“认知地图”。

1952

研究人员：

让·皮亚杰

研究领域：

发展心理学

实验结论：

孩子们的思维方式不同于成人，并且他们学习能力的发展过程呈现阶段性

孩子，你在想什么？

皮亚杰的儿童认知理论

大多数人以为孩子们就像大人一样思考，只是不像大人那么善于思考罢了。然而，瑞士的心理学家让·皮亚杰却发现儿童的思维方式与成人完全不同——他们天生就具有一种原始的心理结构，并能通过学习逐步成长。

他通过不断与儿童（包括他自己的孩子）交流来逐渐发展自己的理论，并且通过实验来梳理出儿童对世界的认识。

守恒

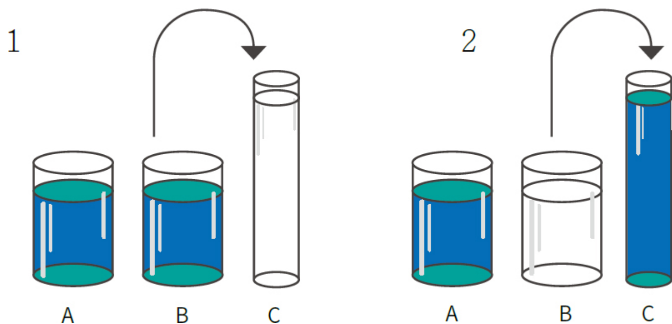
-

皮亚杰发现，年幼的儿童不理解守恒的概念。他给儿童展示两个

盛有等量液体的宽玻璃杯。然后他把其中一个宽玻璃杯的液体倒进一个狭长的玻璃杯，于是液体变得更深。结果，二至七岁的孩子都说，现在窄玻璃杯里有更多的液体——几乎无一例外。

当皮亚杰把糖果在桌子上摆成两排，每行数量相等，但一排糖果比较紧密，另外一排的糖果之间距离较远，于是，孩子们再次被愚弄了。当皮亚杰问他们哪一排的糖果更多，他记录道：

> “年龄处于2岁6个月到3岁2个月的儿童能够正确区分两排对象的相对数量；处于3岁2个月到4岁6个月之间的儿童认为比较长的一排有更多的糖果……年龄大于4岁6个月的儿童，他们又能正确地鉴别两者的区别。”



皮亚杰的守恒实验

皮亚杰定义了四个发展阶段：0～2岁是“感知——运动”阶段，2～7岁是“前运算”阶段，等等。在第二阶段的第一部分，从2岁到4岁，孩子们开始能够用符号来表示他们的世界。他们会画出他们的家人，尽管他们的画不成比例，甚至远不像人，但孩子们似乎并不介意。

在第二阶段的后半部分（4至7岁），儿童开始变得充满好奇心，并会提出无数个为什么，其中的一些问题显示出推理的迹象。有些问题根本无法回答的——我的儿子曾经问我：“为什么这是一只猫？”我不知道该说些什么。他又接着问道，“如果这不是一只猫，会怎么样

呢？”

皮亚杰认为孩子会形成“图式”——即智能行为的组块，或知识的实际单位（参见???第36页）。即便小婴儿也会有一些图式，比如吮吸反射的动作图式：他们会吮吸乳头、毯子或手指。随着儿童对世界的探索，这些图式会不断修正和补充，而且，随着儿童发展和成长，他们会发展出更多的图式，包括他们获得的最新信息。当新的信息可以直接进入到已有的图式时，这一过程被称为“同化”；当它无法被纳入已有的图式，那么它会将现有的图式重组或扩大以适应自身。





以自我为中心的观点

皮亚杰推测，小孩子是以自我为中心来看待世界的，这意味着他们无法从别人的角度想象事物的样子。他用一个精妙的实验来展现了这一点，这个实验被称为“三山实验”。

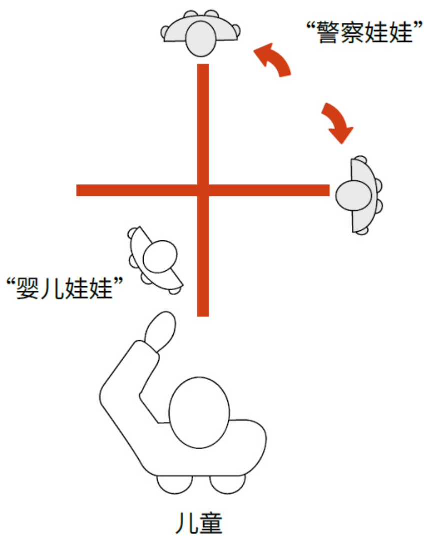
他把三座不同的山的三维模型展示给儿童：其中一座山上有一个十字架，另一座山上有一棵树，还有一座山顶覆盖着白雪。有一只泰迪熊或一个娃娃坐在桌子的另一头。然后，他将一系列照片给孩子们看，并问他们哪一张照片是从娃娃的角度看到的。他们不约而同地选择了从他们自己的角度拍摄的那张照片，而不是娃娃的。

皮亚杰写道：

> “孩子们还不能想象出娃娃从不同角度看到的不一样的场景，孩子们总是认为自己的观点是绝对完全的，从而推己及人，毫不犹疑地认为这也是娃娃看到的。”

这个实验一直受到批评，理由在于儿童或许没能理解实验中所提出的问题，以及类似的但设置较为简单的研究取得了不同的结果。例如，1975年英国的发展心理学家马丁·休斯给儿童呈现了两面相交的墙的模型，还有两个“警察娃娃”和一个“婴儿娃娃”。他要求孩子们把婴儿藏在两个警察看不到的地方。参加实验的孩子们年龄从3岁6个月到5岁不等，其中90%的儿童给出了正确的答案，这证明他们其实能够理解两个警察的视角。

皮亚杰的工作成果极大地影响了发展心理学和教育学这两个领域，他的理论和实验因此得到了密切的关注和频繁的质疑，他的发展阶段理论曾得到诸多次修改。


“警察娃娃”
“婴儿娃娃”
儿童

1953

研究人员：

莫里斯·F.赫勒

莫·伯格曼

研究领域：

神经心理学

实验结论：

次声频耳鸣可能是在未被发觉的情况下大家都经历过的共同现象

那是什么声音？

耳鸣的普遍性

无休止的嗡嗡声或在耳边响起的铃声使一些人备受折磨，这些杂音影响听力，打断睡眠，让生活变得困苦不堪。这种嗡嗡声或铃响被称为耳鸣，耳鸣所带来的感觉多种多样，可能是轻微的不适，也可能是极大的痛苦。

20世纪50年代之前，人们普遍认为耳鸣有两种类型。一种是振动耳鸣，由物理源造成的真实声音引起，比如肌肉活动；另外一种是非振动耳鸣——听觉神经受到刺激所引发的虚幻的声音，它来自于大脑内部。

医生曾提出过各种可能的治疗耳鸣的方法：用六种不同类型的药

物进行治疗、排除所有药品和麻醉剂进行治疗、矫正出现故障的胃肠功能或造血器官、控制饮食平衡、牙齿治疗、耳内用药、心理治疗、使用助听器，等等，更不用说各种各样的手术了。

耳鸣到底是一种疾病还是症状？

-

一位曾经断言耳鸣总是与耳聋有关的研究者E.P.福勒改变了他的观点，他指出耳鸣常常存在于没有明显耳病的人群中。他检查了2000名被试，发现其中86%的人患有耳鸣。



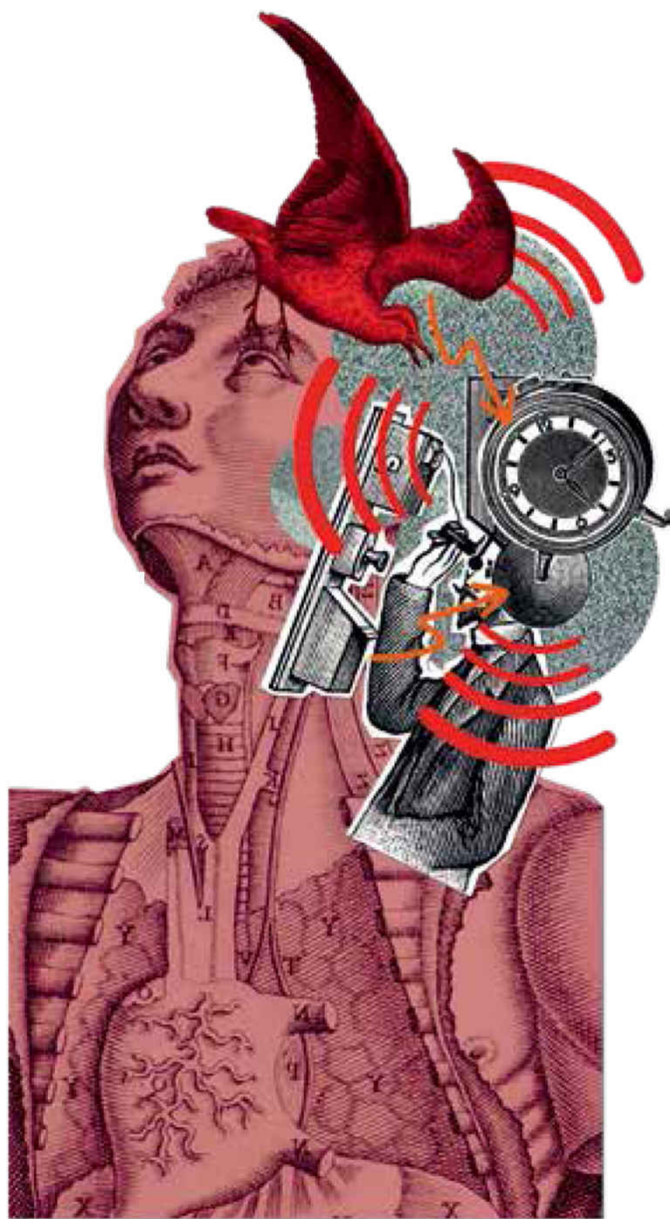
美国的听力专科医生莫里斯·F.赫勒和莫·伯格曼指出，耳鸣有时会干扰患者的听力，但他们想知道是否真实的情况恰好相反——也许耳鸣的症状在患者听力恶化时变得更加明显。

患者经常说，如果不是因为他们脑袋里的噪声，他们的听力会更好，脑袋里的噪声越大，耳背越严重。这种情况不一定总是耳鸣的责任，或许随着耳背变得严重，脑中的噪声更难被掩蔽，因此人们主观地感觉到它更响亮了。

响度以分贝（dB）为单位测量。非常大的噪声，如钻头或摩托车，会产生100分贝的声响，而正常谈话的声音约为70分贝，耳语约

50分贝。赫勒和伯格曼估测耳鸣的响度只比人类听觉的阈值高出5～10分贝——这是人类能够听到的最微弱的声音。

赫勒和伯格曼想知道，既然在完全健康的人中观察到了耳鸣，它是否可能是听力受损的早期症状？他们意识到，他们也许可以通过将健康的人暴露在极度安静的环境来研究次声频的耳鸣（人们不能正常听到的耳鸣）。



隔音室

-

赫勒和伯格曼招募了来自于各种背景（健康的成年人，男性和女性，年龄从18岁到60岁）的80名志愿者作为被试，他们的听力水平正常，并且没有报告自己有耳聋或耳鸣的情况。每个人被分别带入隔音室，房间中的环境噪声在15～18分贝之间（他们无法精确测量，因为当时的声级计不够精密，无法检测到所有的噪声）。

被试坐在隔音室内，被要求记录他们听到的任何声音。研究人员也测试了100名听障患者，其中的大多数是退伍军人。

实验的结果令人惊讶。在听障患者中，73%的人报告听到了声音。其他听力无障碍的被试中，94%的人报告听到了声音。他们一共报告了39种不同的声音。大部分人报告听到一个声音，一些人报告听见了两个，一小部分人报告听见了三个、四个或五个声音。

这些结果表明，几乎每个人都有耳鸣，但通常被环境噪声掩盖了。在普通安静的生活环境中，环境噪声通常大于35分贝，这足以掩盖耳鸣的声响，于是人们便听不到耳鸣了。



不可治愈的状况

-

我们可以从赫勒和伯格曼的研究中得出的一个直接结论是，我们不能通过任何治疗方法“治愈”或消除耳鸣，最多只能使它不被听见。然而，这并没有阻止人们提出耳鸣的病因和预防措施。例如，引起耳鸣的一个可能病因是饮用咖啡和茶。

根据这一假设，英国实验心理学家林赛·圣克莱尔在2010年招募了67名被试，进行了为期30天的实验，以验证咖啡因是否对耳鸣有作用。他的研究团队只观察到了严重的咖啡因戒断症状，并没有发现任何可以证明戒除咖啡因可以缓解耳鸣的证据。

1956

研究人员：

利昂·费斯廷格

亨利·里肯

斯坦利·斯坎特

研究领域：

认知失调

实验结论：

人们面对两个或更多矛盾的信念时会感到极度的痛苦

末日已近？

认知失调的痛苦

1954年8月，玛丽安·科琪预测，在12月21日黎明之前，世界将在一场大洪水中毁灭。玛丽安·科琪是一个名为“追寻者”的宗教团体的领袖。她声称自己可以通过“自发书写”的方式接收到信息，即她的手和笔会自己动起来，并且所写下的笔迹与她自己的完全不一样。这些信息中有对其他行星环境的描述，也有关于战争和地球毁灭的警告，以及会为所有真正的信徒们带来极大喜悦的救赎承诺。

她声称自己已经接到来自克拉里翁星的末日消息，并补充说，在大洪水之前，一个飞碟会前来将“追寻者”的信徒们带到安全的地方。





信徒

-

宗教团体中的其他成员——一名外科医生，他的妻子和一些中年学者，辞掉工作、抛下家庭、舍弃钱财，为逃离做好了准备。正如其中一人所言：“我抛下了一切，斩断了所有的牵挂和每条回头路。我已经放弃了全世界。我无力承受怀疑的代价。我必须相信。”

利昂·费斯廷格和他的同事在一家地方报纸上看到了这样一则标题——《来自克拉里翁星的预言。呼叫城市：逃离大洪水》——于是，他们决定渗透进这一宗教团队中并跟进他们的行动。作为社会学家，他们想要观察预言失败时人们的心理过程。10月，他们去访问了玛丽安·科琪，并设法加入了这个邪教组织。

有时他们会遇到一些小麻烦。一天晚上，科琪夫人邀请研究员“汉克”主持晚上的例会。他不敢拒绝，怕因此引起怀疑，也怕自己做错事从而把一切搞砸。他同意了，当例会开始时，他举起手说：“让我们冥想吧。”

灾难之日一天天临近，研究人员建议该团体避开宣传，尽量不接受采访，并且只允许真正的信徒进入科琪的家。



准备起飞

-

12月20日，“追寻者”们期待着外太空的“守护者”在午夜打电话给他们，将他们带到等待着的飞船上。晚上，他们小心地丢掉了所有的金属物体，包括硬币、戒指、纽扣、拉链、皮带扣和胸衣的带子。

到了凌晨，守护者仍然没有到来，可怕的沉默弥漫在众人之间。凌晨4点钟，凯克夫人开始哭泣。

凌晨4点45分，科琪通过“自发书写”接到了另一则消息。消息称，这个宗教团体坐了整整一夜，传播了这么多的光，所以掌管地球的上帝决定将世界从末日之灾中解救出来。

假设你是团体中的一员，你现在会做什么？你会拿回所有的金属

物件，静静离开，偷偷回家，并指望你的家人和上司毫不生气地欢迎你回来吗？只有一个成员这样做了，其余的“追寻者”们所做出的举动与之恰恰相反。

解决问题

-

他们掉转矛头，开始了紧急行动，将消息传达给尽可能多的人。6点30分时，他们已经给报社打了电话，安排采访，试图让全世界都归入他们的宗教体系。

他们还做出了各种其他的预言，并开始发行详细说明预言的小册子。换句话说，此次事件根本没有让他们离开，反而还增加了他们对邪教团体的忠诚度。

费斯廷格说，之所以会变成如此，是因为他们曾经用坚定的确信来坚持自己的信仰，并且采取了不能撤回的重要举动，还得到团队中其他人的支持，然而预言却是错的——他们的信念受到了强烈的冲击。

费斯廷格认为立场的转变源自于两个不兼容信念所造成的精神压力。他称之为“认知失调”。我们总是会遇到这个情况。假设你的朋友鲍勃买了一辆新车，或者一部新的手机。他可能会说这是最好的、最快的、最有效的、最划算的，等等。鲍勃说的也许是真的，但更重要的是，他为此花费了时间和金钱，所以他并不希望你或任何人说那东西是不好的。

在“追寻者”事件中，费斯廷格指出，末日最终没有到来，于是信徒们面临严重的认知失调。信徒们发现，与其承认预言以及自己所坚持的信仰是错误的，修改原始的预言会更容易一些，以及接受附加的信念——实际上是外星人因为他们所付出的努力而拯救了世界。



1956

研究人员：

所罗门·E.阿希

研究领域：

社会心理学

实验结论：

相当多的被试会同意一个群体决定，即使他们认为它是错误的

你会向同辈压力屈服吗？

“从众”实验

你会坚持你所认为正确的理论吗，哪怕许多人说你是错的？

你究竟有多独立？

处于群体中的个体似乎往往会遵从群体的决定——“我们一起去餐馆吧”或“我们都给你唱生日快乐歌”。然而，有时会出现那么一两个“特立独行”的人决定做其他的事。行为主义心理学家所罗门·E.阿希试图测量到底有多少人会被群体里的其他人说服。

实验

-

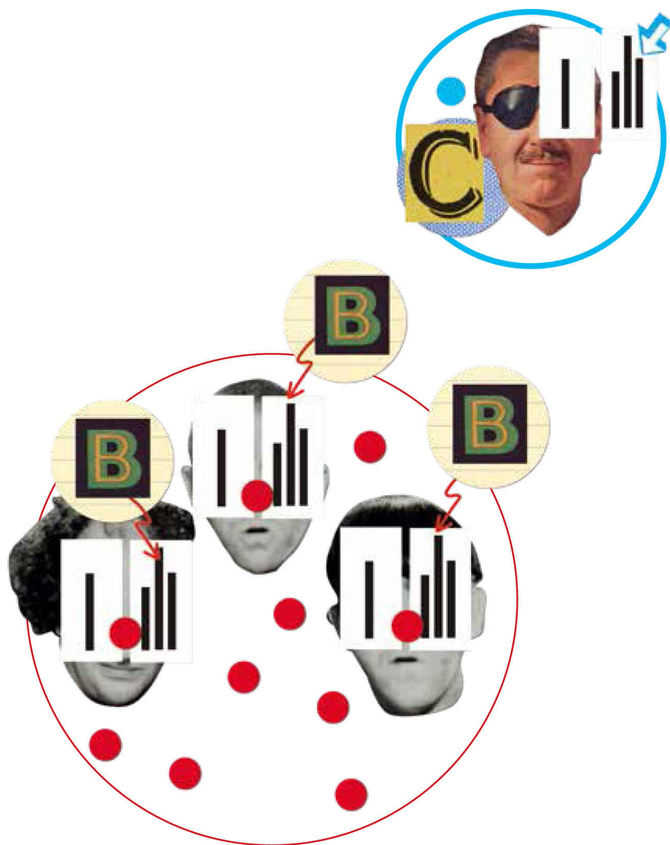
在一项心理学的研究中，一名男大学生被邀请加入一组其他学

生，他发现其他人正在走廊中等待。大家一起进入了一间教室，这位最新被招募的被试发现自己坐在倒数第二个，这一排除他之外还有六七个人。他不知道其他人都是实验人员安排的“卧底”，这些人要遵循一套严格的规则。这名男生是唯一的局外人——“目标被试”。

一个研究人员进到房间，向大家解释他们要做的是估计线段的相对长度。在每个试次中，他拿出一张画有三条不同长度的黑线的卡片，以及一张画有测试线的独立卡片。测试线的长度与另一张卡片上三条线段中的某条相同。线段的长度范围在1至10英寸（2.5至25厘米）。小组的任务是选出哪条线与测试线长度相同。

下面是最关键的部分：他们需要一个接一个地大声说出他们的选择。目标被试是倒数第二个发言的人，所以在轮到他发言之前他会听到几个其他人的答案。每个实验有18个试次，由重复两遍的9个试次组成。

所有的实验“卧底”总是给出相同的答案，所以，如果第一个人说答案是B线段，其余所有人都会做出一样的回答。对于前两个试次，大家给出的答案是正确的。在第三个试次中，实验“卧底”故意选择错误的答案。于是，目标被试会感到困惑，他不得不做出选择——说出他认为正确的答案，或屈从于大多数人。这是一个艰难的决定，因为他不得不在公共场合说出自己的答案，也就意味着他必须指出其他人都是错的。



然后，他们继续接下来的试次，在18个试次中有6次，实验“卧底”们给出了正确的答案，在剩下的12个试次中给出了错误的答案。奇怪的是，目标被试通常是在第四个试次和第十个试次中屈服于大多数人并做出错误的回答，而且还都是关于相同的一组线。

为了确保被试能轻而易举地选择出正确线段，阿希进行了一系列的实验：被试独自浏览所有的线段，并写下他的答案。在没有同辈压力的情况下，被试的准确率超过了99%，可见任务并不太难。

阿希重复了几十次实验，总体结果是目标被试在37%的试次中屈服于大多数，给出“错误的”答案。一些目标被试始终保持独立，无视组中的其余人。另一些被试则完全放弃独立思考，每次都随波逐流。

有些人选择了中庸，在20%的试次中给出错误的答案，他们的答案没有错得那么离谱，但仍然是错的。

阿希在实验后对他们所有人进行了访谈，发现他们试图解释为什么他们被迷惑：

·过了一阵我便以为他们是在测量线段的宽度。

·我以为其中有诈——比如视错觉什么的。

·最开始我觉得要么是我的问题，要么是其他大多数人的问题。

·我确定他们是错的，但不确定自己是对的。

群体压力

-

在每个访谈的最后阶段，阿希向被试揭晓了实验的过程，于是，“受害者”们都松了一口气。有人甚至说：“政府的职责是执行多数人的意志，尽管你知道他们是错的。”其他人则高兴地分享了他们的感想：

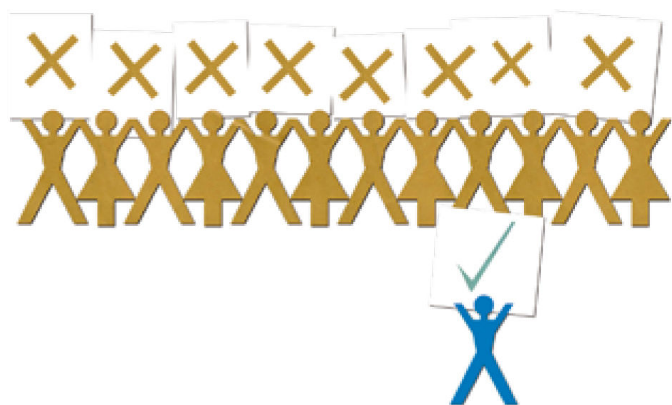
·要么是其他人都疯了要么是我疯了——我没法确定自己的想法——我当时在想是不是我的判断力确实就像看上去那么差，但同时我又感觉自己的判断是对的。

·我同意他们更多是因为我想要与他们一样，而不是因为我觉得他们是对的。我想，与众人意见相反需要很大的勇气。

·当我不赞成大家时，我感觉自己处于群体之外。

阿希得出了一系列结论。只有两名或三名实验“卧底”时，目标被试“独立”的可能性更大，较少“随波逐流”。来自于多数人的压力并没有随着时间而增长，大部分目标被试的独立程度是保持一致的。所

以，同辈压力真的存在，虽然这些实验只是判断线段的长度——我们还需要更多的实验来探究它的作用会有多大。但通常情况下，正如其中一个受害者所言：“成为‘少数群体’并不容易。”



1959

研究人员：

哈里·F.哈洛

R.R.齐默尔曼

研究领域：

发展心理学

实验结论：

证据表明，婴儿对母亲的依恋不仅仅源于喂食

婴儿如何发展出依恋？

与母亲分离、依赖需要和社交剥夺

为什么婴儿会对他们的母亲形成强烈的依恋？这是一个出于本性的自动过程，还是因母亲的喂食而养成的习惯？饱受争议的美国心理学家哈里·F.哈洛写道：

> “心理学家、社会学家和人类学家通常认为，婴儿通过将母亲的面部、躯体和其他身体特征与减轻内部的生理紧张——特别是饥饿和口渴——相结合，来学会‘爱’。传统的心理分析倾向于强调附属和吸吮乳房在情感发展中的基础作用。”

换句话说，要么是因为婴儿因需要母乳而去找母亲，并学会将食

物与她的脸、气味和感觉联系起来，因此对母亲形成了有条件的依恋；要么无论是否有母乳的供应，婴儿与母亲之间都会形成一个先天与“进化论”有关的联结。哈洛想通过将母亲和婴儿分离来探究哪一种假设是正确的。他意识到自己不可能使用人类婴儿来做实验，便选择了恒河猴作为自己的实验对象，他的研究地点是威斯康星大学灵长类实验室。

他需要找到一种方法将母乳的供应与母亲身体的温暖和柔软分开。他发现，婴儿被从母亲身边带走后，会花一些时间来紧紧贴着自己的尿布，这让他有了灵感。

代母

-

他从母猴那里取了8只幼猴，它们都仅仅出生了6到12小时。哈洛将每只幼猴放在一个笼子里，每个笼子里有两只替代母猴，替代母猴由坚硬的铁丝网制成，安装了粗糙的头部。其中一个裹在毛巾布里，另一个是裸露的。

在其中四个笼子中，铁丝母猴配备有可以喂奶的奶瓶，毛巾布母猴没有牛奶。剩下的四个笼子里，只有毛巾布母猴有牛奶。

两组猴子喝相同数量的牛奶，并增加了相同的体重，但一项关键的观察是，在所有的8个笼子里，幼猴绝大多数的时间都攀在和紧贴在它们的毛巾布母猴身上。





幼猴与这些替代母亲相处了6个月。一般来说，那些从钢丝母猴

吃奶的幼猴，会在饥饿或口渴时短暂地找钢丝母猴，但大部分时间和毛巾布母猴待在一起，并与它形成了一种强烈和稳定的联结。

事实上，幼猴花了这么多的时间与它们柔软的代母相处，证明了依恋不仅仅与食物相关，还包括一些来自天性的东西。哈洛想知道，毛巾布母猴是否会在幼猴害怕时提供舒适和安全。所以他放置了一个会敲鼓的机械熊，这个玩具可以发出巨大的噪声。

无论提供牛奶的代母是哪个，害怕的幼猴都蜷缩在毛巾布母猴身上。这与真正的母猴养育幼猴时的行为相符。婴儿每天花上很多时间黏着它们的母亲，并且在害怕时奔向母亲，以寻求舒适和安慰。

旷场实验

-

哈洛把每个幼猴置于有奇怪物体的新环境中。他发现如果幼猴的代母在身旁，幼猴会紧贴着母亲一段时间，然后离开母亲去探索，当它们害怕时会跑回到母亲身边。如果代母不在身旁，幼猴会在一个角落里蜷缩起来，待在那里，吮吸它们的拇指。

被剥夺了情感的人类婴儿在日后形成情感联结时常常会遇到困难。哈洛在幼猴身上也发现了类似的行为。他将四个幼猴从母猴身边带离，将其放置在没有代母的环境里。八个月后，哈洛再把幼猴放入有毛巾布代母和铁丝网代母的笼子中，但它们无法与任何一个代母形成依恋。哈洛总结道，幼猴只有在出生的最初几个月内紧贴着、拥抱着可爱的物体，才能正常地发育，肌肤接触似乎是对压力天生的、自动的反应。

另一方面，幼猴似乎需要的是与社会而不是与母亲的互动。另一组的四个幼猴被独自养大，但它们每天会有20分钟进入一个装有另外三只猴子的笼子中。这些幼猴在长大之后拥有相对正常的情绪和社会行为。

虽然依照推理，哈洛的研究成果可以给人类婴儿的行为带来一些启示（例如，哈洛的研究结果表明，与母亲长时间的身体接触是有益

的），但是，该研究也因不必要的残忍而受到广泛批评。用来做实验的幼猴再也没能完全恢复正常；当把它们与被母猴正常养育长大的猴子放在一个笼子里时，“孤儿”会蜷缩在角落里，总有不快的表现。哈洛的实验还给被剥夺了幼崽的母猴造成了很大程度的焦虑，母猴们常常变得神经质，当幼猴被重新带回时，这些母猴甚至会愤怒地攻击它们自己的孩子。

1960

研究人员：

乔治·斯珀林

研究领域：

认知与记忆

实验结论：

人类具有极强的视觉短时记忆

视觉短时记忆有多短？

图形记忆的快速消退

如果你看到一排随机字母，如NDRKSQ，你能记得多少？如果你看到的是一整个字母网格呢？在新泽西州著名的贝尔实验室工作的美国心理学家乔治·斯珀林想知道在一个简短的曝光中，我们可以看到多少东西，以及记住多长时间。为了探究这一事实，斯珀林设计了一套简单而精密的实验。

如何短暂迅速地呈现图像是实验的难题。斯珀林使用了视速仪，这让他能够用不到一秒钟的时间向被试呈现卡片。

从22英寸（55厘米）远处，研究人员向被试呈现大小为5英寸×8英寸（12厘米×20厘米）的卡片，每张卡片上有半英寸（1厘米左右）高的字母阵列。视速仪的发光时长通常设置为50毫秒（1秒的1/20）。实验采用了500张不同的卡片，所以没有任何一名被试记住

了字母的呈现模式，除了一些特别醒目的，比如XXX。

一些卡片只有1行，其中有3～7个字母，要么有间隔，要么连在一起。其余的卡片上有2行或3行字母，要么有间隔，要么相连。

RNFBTS　　　KLBJ
YNXP

实验1

-

被试看其中的一个阵列50毫秒，然后需要在网格上的正确位置上写下对应的字母。他们不确定时可以靠猜测。在每个试次中，受试者以自己选择的速度看5到20张卡片——通常大约每分钟3张或4张。

当卡片上只有三个字母时，所有被试的正确率都是100%。字母变多后，被试们的得分（瞬时记忆广度）出现了变化，但每个被试自身几乎保持恒定——能够记住的字母数量在3.8个到5.2个之间。平均瞬时记忆广度约为4.3个字母。字母的排列方式对记忆广度没有显著影响。



实验2

-

斯珀林随后尝试改变视速仪的发光时长，他将卡片的呈现时间设置为从15ms到500ms（毫秒）不等。令人惊讶的是，这个改变对被试的得分并没有显著的影响。



实验3

-

斯珀林发现，受试者经常说自己看到的比之后记住的更多。这意味着实验还需要提出“你看到了什么”这一问题。

于是，斯珀林设计了一个精妙的实验，以确定被试是否真的看到了比他们所说的更多的内容。斯珀林向被试们呈现了比他们能够报告的更多的信息，但只要求他们报告其中的一部分。



这一次，被试会看见两行字母，每行有3个或4个字母。他们被告知，在光熄灭后，会立即有声音响起，声音将持续半秒钟。如果是低调，他们需要报告下排的字母，如果是高调，他们需要写下上排的字母。在此之后，被试又会看到三行字母，与之对应的是三个音调。

高音D W R M

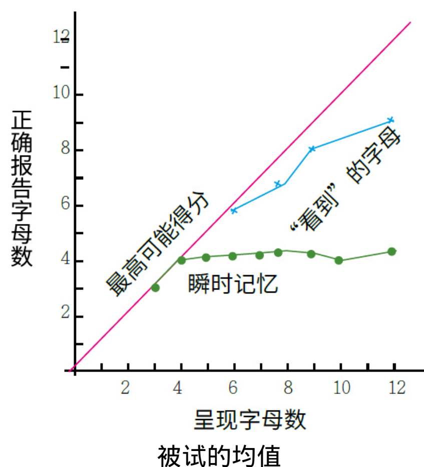
中音S K Z T

低音Q M C R

结果令人惊讶。被试作答出的正确字母比以前更多，并且他们的准确度随着练习而逐渐增加，当呈现有12个字母的卡片时，被试们的平均分达到76%。换句话说，他们一定“看到”了12个字母中的9个。

这表明，在卡片被呈现的时候，以及几十分之一秒后，被试记住的可用信息比后来报告的信息要多两到三倍。

下方的图表清晰地呈现了实验的结果。横轴表示卡片中具有的字母数量。最高可能得分是一条对角线。较低的曲线显示了瞬时记忆的广度（实验1）；较高的曲线显示了实验3中被试“看到”的字母数。



图像记忆

-

在字母卡之后立即呈现一个白卡，被试的表现就变差了许多（说明此时视觉系统已经过载），这支持了字母必须以持续的视觉方式呈现的假设。

换句话说，斯珀林发现了一种快速遗忘的、像照片般的记忆。之前，从来没有人提出过这样的观点。在今天，它被称为“图像记忆”或视觉短时记忆（VSTM）。

1961

研究人员：

阿尔伯特·班杜拉

D.罗斯

S.A.罗斯

研究领域：

发展和社会心理学

实验结论：

目睹过攻击行为的儿童更容易表现出身体攻击行为

攻击行为是习得的吗？

波波玩偶实验

电视和电子游戏中的攻击行为如炮弹般轰炸着儿童。大多数儿童在10岁或11岁之前会看到数千起谋杀和数十万次暴力行为，而这些行为往往都经过粉饰和渲染。甚至卡通人物都免不了被拍打、揍扁或丢下悬崖的命运。这种毫无节制的暴力是否也会鼓励儿童变得暴力？

这正是阿尔伯特·班杜拉和他的同事想要探究的。于是，他们选取了三组年龄在3～6岁的儿童，并让其中一组观看成人榜样角色的攻击行为，一组观看正常行为，剩下的一组为对照组，对照组的儿童只是自己待在房间里，随后，班杜拉与同事们一同观察孩子们会做些什

么。

研究人员假设女孩更倾向于模仿女性榜样角色，男孩更倾向于模仿男性榜样角色。他们还假设男孩更具有攻击性，尤其在男孩们看到了一个攻击性的男性榜样角色后。

实验

-

孩子们被单独带进房间，榜样角色随后被邀请加入。儿童坐在角落里的桌子旁，桌子上有可以用来制作图片的马铃薯印花和贴纸材料。榜样角色走向对面的角落，那里有一套小桌椅、一套万能工匠玩具[(6)]、一根棒球棍和一个5英尺（1.5米）的波波玩偶——真人大小的充气玩偶，会在被推倒时再次弹起来。

在正常的试次里，榜样角色没有表现出特别的攻击性，他们坐在位子上，组装万能工匠，完全忽略波波玩偶。在攻击行为的试次里，榜样角色与万能工匠玩具玩了一分钟，然后在剩下的时间里猛烈地攻击波波玩偶——打它，坐在它上面，用拳头反复击打它的鼻子，把它提起来，并用棒球棍用力地打它的头，然后将它扔向空中，愤怒地把它在房间里到处踢。随后，他们重复这些动作三次，并大声喊着：“打它的鼻子！……把它打倒！……把它扔到空中！……踢他……砰！”



十分钟后，一名女性研究人员返回，把孩子带到另一栋建筑里。在前厅里玩了两分钟后，孩子们一同进入观察室，女研究员在那里等着，但是坐在角落里的办公桌后忙着办公，避免与孩子们有任何互动。

这个实验室里有各种玩具，有蜡笔和纸、球、娃娃、熊、汽车和卡车模型、塑料的农场动物玩具，还有一根棒球棍和一个3英尺（1米）的充气波波玩偶。每个孩子都在这个房间里待了20分钟，评分人员透过单向镜观看他们的行为并打分。

即便是观看了无攻击行为的榜样角色后，男孩也几乎总是比女孩更具有攻击性，特别是对于棒球棍和波波玩偶，但榜样角色的性别似乎没有造成显著差异。对照组中的女孩和男孩没有观看任何榜样角色表现，他们表现出同等程度的攻击性。一个有趣的现象是，相对于那些没有看到任何榜样的孩子们，观看了无攻击行为榜样角色的男孩和女孩都表现出更少的攻击行为。

然而，观看了攻击行为的孩子们则大有不同。女孩子在看到女性榜样大喊之后，也一起大喊大叫。虽然男孩在看到男性榜样的叫骂之后，发出了更多的喊叫，但女孩的喊叫声被认为更有攻击性。



波波玩偶

-

奇怪的是，在殴打波波玩偶这件事上，男孩在观看男性榜样后表现出更多的攻击性，女孩同样在观看男性榜样的攻击行为后更有攻击性。

几乎每个分类中观看了攻击行为的孩子都比没有观看的孩子更具有侵略性，这证实了研究人员的假设，即攻击行为是可以习得的。他们总结道，对于男性倾向的行为，比如身体侵犯，男孩和女孩都更倾向于模仿男性榜样，而不是女性榜样。而另一方面，对于言语攻击（“把它打倒！……把它扔到空中！……踢他……砰！”），男孩和女孩都更倾向于模仿与自己性别相同的榜样角色。

孩子们对攻击性榜样的评论表现出明显的性别差异：“那个女人是谁？女人不该做出这种事……她表现得像个男人。我从来没有见过一个会这样做的女孩。她当时在出拳和打架。”相反，一个女孩却说：“那个男人是一个强大的战士，他打了一拳又一拳，他可以一下把波波打倒在地上……他是一名优秀的战士，就像爸爸那样。”

上述的实验已经被引用了上千次，但至今仍然存在争议：屏幕中的暴力会让孩子们变得暴力吗？我们依旧不知道答案是什么。

1961

研究人员：

穆扎费尔·谢里夫

卡罗琳·W.谢里夫

O.J.哈维

B.杰克·怀特

威廉·R.胡德

研究领域：

社会心理学/冲突理论

实验结论：

冲突源于资源竞争而不是个体差异

要加入我们“帮派”吗？

团队精神和罗伯斯山洞中的“帮派”

到底是什么导致了紧张的局势？每当互为竞争关系的群体争抢稀缺资源时，世界便深受其害。我们可以做些什么来预防这种局面的出现？

社会心理学家穆扎费尔·谢里夫出生于土耳其，并在那里接受教育，他对现实冲突理论很感兴趣。于是，他决定刻意在群体之间引起

冲突，然后观察它是如何被解决的。

罗伯斯山洞

-

他邀请了两组12岁的男孩参加位于俄克拉何马州的罗伯斯山洞州立公园的夏令营。每一组由11个出身于中产阶级的白人男孩组成，他们彼此互不认识，也不了解另一组的具体情况。

在第一周，两个组一同游泳和徒步旅行，并一起进行棒球练习，建立了属于团队的共同文化。一个小组称自己为老鹰队，另一组称自己为响尾蛇队，他们在T恤和旗子上印上了队伍的名字。

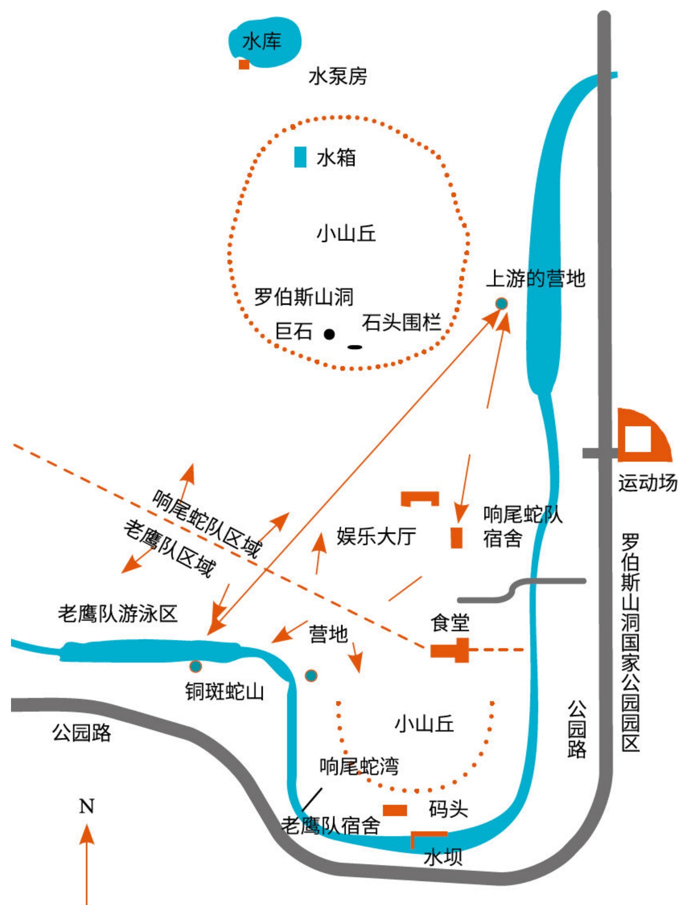
为有限的资源而竞争

-

接下来，研究人员安排两队进行棒球、拔河、橄榄球、搭建帐篷和寻宝游戏的比赛，并答应他们胜出的一方会有奖励——每个队员都会得到一个团体奖杯、一块奖牌和一把四刃刀——但失败的队将一无所获，研究人员这么做是为了激发他们的挫败感。孩子们刚听到关于比赛的消息时，响尾蛇队坚信自己会赢。

比赛一直是公平的，直到最后一项——寻宝游戏。这个游戏中，研究人员从中操控，使得老鹰队获胜。老鹰队的孩子们“为他们的胜利而欢呼，跳上跳下，互相拥抱，弄出很大的声响来让在场的所有人都知道他们赢了。在另一边，响尾蛇队的孩子们十分沮丧，静静地坐在地上”。

一个小队去野餐，但在路上耽搁了，等他们到了却发现另一队已经吃了他们的食物。



营地和两队各自活动区域的大致布局

冲突开始加剧。两支队伍互相叫对方的名字，嘲弄对方。老鹰队烧了响尾蛇队的旗子，响尾蛇队洗劫了老鹰队的房间，掀翻他们的床，偷他们的东西。两队都变得十分愤怒，研究人员只能亲自将他们分开。

谢里夫记录道：

“对另一队伍的贬低态度并非源自于预先的感觉或判断……它不是由种族、宗教、教育或其他的不同背景造成的。被试感知到了因为另一组而产生的竞争和挫败，从而有

意识地进入了冲突状态。”

随后，他们花了两天冷静心情，但是谢里夫发现，正如他所料，把小队聚集在一起并不能解决问题，他们不断喊对方队伍的名字，在吃饭时互相投掷食物和餐巾。他认为，化解冲突的最好方法是向群体提出一个大问题，问题要大到无法单独解决——谢里夫将其称为“超常目标”——他们必须因此而合作。

研究人员切断了处于营地上方的水箱的供水，然后宣布大约需要25人才能解决这个障碍。两队成员自愿报名参加。到达水箱时，他们十分口渴但没有水喝。在这一阶段，他们开始了合作，共同移除将管道堵塞的障碍物（由研究人员放在那里）。

下一个任务则关于金钱。男孩们被告知他们可以去看电影，但去城市的路费要15美元，而营地只能付得起5美元。经过多次讨论和投票，两队都同意贡献出自己的钱，最后他们都看得很愉快。

接着，两个队伍的男孩乘坐卡车前往位于锡达湖的营地，在那里，他们被引导着一起工作，拖一辆“卡住”的卡车。之后，两个小队都同意交替着每隔一天为所有人做饭。

最后，他们一起乘坐同一辆巴士回家，在路上的一个休息站，他们甚至同意用其中一队赢得的5美元奖金为大家购买饮料。

结论

-

谢里夫从研究中得出结论：由于被创建的两支队伍大致相同，所以个体差异不足以引发组间的冲突。当男孩们争夺珍贵的奖品时，敌对和侵略的态度出现了，因为他们所竞争的资源只能落到一支队伍手中。

4．思维、大脑与他人：1962—1970

到了20世纪60年代中期，心理学蒸蒸日上，成了“受人尊敬”的科学领域，全球的大学和高中都开设了相关的课程。心理学家和研究人士不断探索出越来越多的议题，比如旁观者如何应对紧急情况或个人空间的入侵。其中最具影响力的是米尔格拉姆关于顺从和服从权威的研究——它引发了人们对社会心理学和人类的群体行为的兴趣。

此外，一些新技术也在20世纪60年代出现，如脑电图（EEG）的发明，让人们得以首次窥见活跃状态下的大脑内部。技术在发展，神经科学也开始和心理学结合起来，这为心理学提供了丰富的新研究方向。

1963

研究人员：

斯坦利·米尔格拉姆

研究领域：

社会心理学

实验结论：

部分个体会服从权威人士的命令，做出违背自己良知的行为

你何时会停手？

米尔格拉姆实验

耶鲁心理学教授斯坦利·米尔格拉姆想要探究被试对权威的服从性有多高。他的灵感来自于查尔斯·珀西·斯诺[7]在1961年发表的言论：“可怕的罪行更常因为‘服从’而犯下，而非‘反抗’。”“二战”期间，数百万无辜的人在命令之下死于屠杀和集中营的毒气——这是一个让人痛苦的事实。

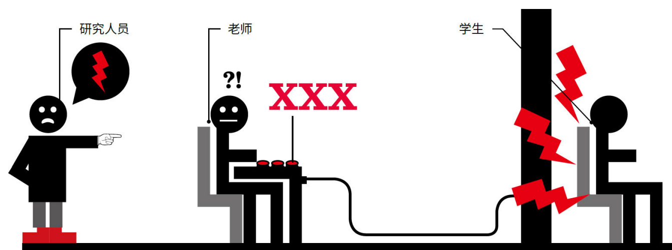
“老师”和“学生”

-

米尔格拉姆邀请了40位被试参加一项学习实验，实验在表面上是为了测试惩罚对记忆的效果。每名被试都在耶鲁大学的实验室中见到了另一个人，一名穿着灰色实验外套的冷漠、严肃的研究人员。研究

人员向他们解释了实验流程，一开始他们需要从一顶帽子中抽签，以确定哪些人做“老师”，哪些人做“学生”。实际上，抽签是事先操作好的，所有的纸条上都是“老师”，因此被试抽到的永远是“老师”。

随后，“老师”会看到被绑在椅子上的“学生”和贴在学生手腕上的电极片。如果“老师”质疑这一点，研究人员便解释说：“虽然电击会造成痛苦，但它不会对人体造成永久性的损害。”



“老师”接着被带到另一个房间，并且只能通过麦克风和耳机与“学生”进行交流。

记忆测试的过程是，“老师”朗读一系列配好对的单词，接着说出某个单词以及四个选项，“学生”必须选择出正确配对的选项。如果“学生”回答正确，“老师”就接着念列表中的下一个单词。如果“学生”回答错误，“老师”便按下开关，对“学生”施加电击。有30个排成一列的开关，“老师”从第一个开始按，“学生”每错一次，便向上移动一个开关。

他们何时会停手？

-

第一次电击只有15伏特（“轻微电击”），但接下来的电压越来越高——30伏特、45伏特、60伏特，一直到420伏特（“危险的重度电击”）和最高的450伏特（简单地标记为“XXX”）。

在实验开始之前，为了令“老师”相信发电机的真实性，研究人员给“老师”施加了一个45伏特的样品电击。

事实上，“学生”是米尔格拉姆的同事——一名训练有素的47岁的会计师——“电击发生器”是假的，他没有受到任何真正的电击。“学生”不停地回答问题，基本都是错误的，电压一直加到300伏特。

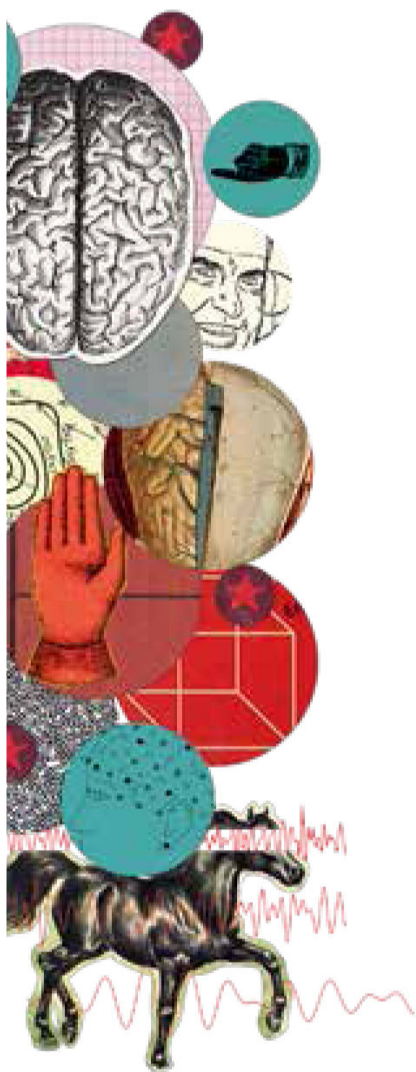
这时，“老师”通常会向研究人员寻求指示，研究人员会让他们给出十秒钟的等待时间，然后施加下一次更高的电击。

没过多久，“老师”会再次询问是否应该继续实验。研究人员礼貌但坚定地给予一系列的劝告：

1．请继续。
2．实验要求你继续。
3．你必须要继续。
4．你没有其他选择，你必须继续。

你认为会有多少“老师”拒绝继续施加虐待？你或许以为大多数人会很快立即拒绝，一组心理学家预测，最糟糕的情况下，将实验进行到底的被试占总体的3%。但事实上，在300伏电压以下，没有一个“老师”停手，并且坚持到最高450伏电压的人数超过了26个。

随着每次实验的进行，所有的“老师”大量地出汗、颤抖、发抖、呻吟，指甲抠进手掌中，其中14个人因过于紧张而突然笑出声。



责任？

-

上述系列实验的惊人结果发人深省。在21世纪，当年纳粹集中营

的许多监狱看守仍旧因战争罪被逮捕和受审，但他们当时是否只是服从命令而已？各国的众多士兵因可怕的暴行被起诉——包括强奸和杀害无辜的平民——他们是否只是服从了来自上级的指令？如果是，这是否可以减轻他们对自己的所作所为负的责任？这个问题至今仍具有高度的争议性。

1963

研究人员：

理查德·L.格里高利

J.G.华莱士

研究领域：

认知与知觉

实验结论：

感官体验并非简单直接

盲人可以重见光明吗？

50岁时重获视力的“神奇”盲人

失明50年后重获视力会是怎样的体验？出生于1906年的西德尼·布拉德福在接种过天花疫苗后，在10个月大时失去了双眼的视力。在英国伯明翰的盲人学校，他的聪明才智逐渐显现，他擅长心算，并学会了通过触摸塑料材质的大写字母来识别它们。他雄心勃勃，精于木工、纺织和修理靴子。他毕业后得到了一个可以在家里修理靴子的工作。

正如理查德·L.格里高利后来所发现的，“作为盲人，他为自己的独立而骄傲……他搂着朋友的肩膀、骑着自行车进行长途旅行，他热衷于园艺，并且在自己的花棚里制造东西”。

重见光明

-

为了治愈眼疾，布拉德福在1958年12月和1959年1月进行了两场手术。拆掉绷带后，首先映入眼帘的便是外科医生的脸。他听到一个来自前方又转到一边的声音，他将脸转向声音的来源，然后说道：“我看到一个凸起伸出来的黑色物体，听到一个声音，于是我摸了摸我的鼻子，猜想那个凸起的东西就是鼻子。然后，我明白了如果这真的是一个鼻子，那么我看到的是一张脸。”

据外科医生说：

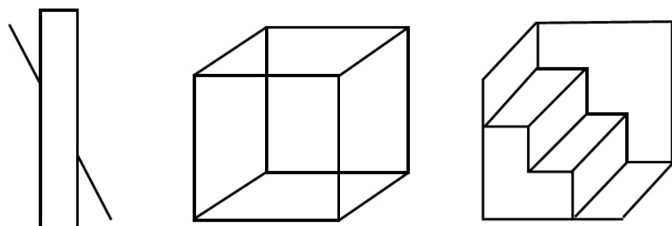
> “他在手术后立即识别出了面部和普通的物体（即椅子、床、桌子等）。他对此的解释是……对于所有能够触摸的东西，他都有一个准确又精确的心理图像。”

格里高利和华莱士在布拉德福第一次手术后的第七周见到了他。他们记录道：“他（布拉德福）甚至可以通过挂在墙上的一个大钟来辨别时间。我们对此感到非常惊讶，以至于我们不相信他在手术前是一个彻底的盲人。接着，他给我们看了一块没有玻璃屏的猎人牌手表，他展现出通过触摸快速又准确辨认时间的能力。”

失败的视错觉

-

格里高利给他看了一些著名的视错觉图片，包括波根多夫错觉和深度反转错觉：大多数人都会说图片中的对角线不是直的，但是布拉德福轻松地判断出“这是一条线”。



奈克方块和台阶看起来是三维的吗？你能从一个视角转换到另一个视角，从而让它们从里面翻出来吗？你能从台阶底部看到它吗？对于大多数人来说，看着它们的时候，奈克方块和台阶将会“外翻”——台阶可以从顶端或底端被看到，但布拉德福看不出深度，图像也并未扭转。当布拉德福被要求作画时，他起初画得非常慢，并且画得不好，但渐渐地，他的技术有所改善。下一页的三张图是他画的一辆公共汽车，分别是他在手术后的第48天、6个月和一年后所画。



接下来，他学习写大写字母，然后是小写字母，但他不会画公共汽车的引擎盖，因为他从来没有触摸过它。

格里高利和华莱士发现了有趣的一点：布拉德福可以识别出他通过触摸而习得的大写字母，但不能识别出他没有触摸过的小写字母。

在伦敦的科学博物馆，他被莫兹利螺纹车床迷住了。有玻璃外箱的阻挡，他不能“看到”它，但是当罩子被拆除，他便可以触摸到它，“他双目紧闭，激动地用双手在车床上触摸。然后，他站到了后面一点点，睁开眼睛说：‘现在我觉得我可以看到了。’他随后正确地命名了许多零件，并解释了它们是如何运作的”。

布拉德福说：“我会拿起一个叉子，触摸它，并记起当我失明时叉子的感觉是怎样的，我知道了：‘这是一个叉子。’当下一次我看到

它时，我就会学着记住它。”

然而手术一年后，布拉德福患上抑郁症，并于1960年8月2日去世。

正如格里高利所言，“虽然视力确实非常重要，但它对于曾经长期失明的人来说也可能是一个潜在的严重伤害”。



1965

研究人员：

埃克哈特·H.赫斯

研究领域：

实验心理学

实验结论：

对眼睛的研究可以揭露大脑的工作机制

眼睛真的是心灵的窗户吗？

瞳孔大小可以揭示人的喜好或情绪

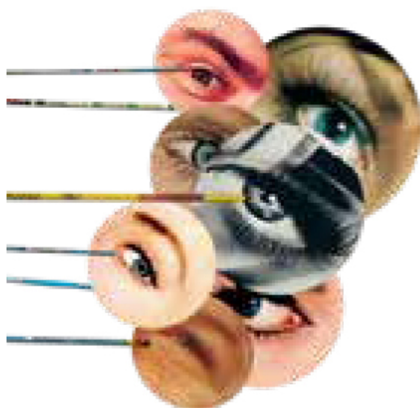
埃克哈特·H.赫斯写道：“当我们说一个人的眼神柔软、刚硬、冷酷或温暖时，我们在大多数情况下只是在描述瞳孔的大小。”

瞳孔是眼睛中心的小黑洞。它们的大小由自主神经系统控制，并且通常根据光的强度而变化。所以，在黑暗的房间里，瞳孔会扩大——就是变得更大，在太阳光下又会缩成一小点。赫斯希望在志愿者看到或想到一些事物的同时，通过简单地测量瞳孔的扩张，便能够弄清楚与此同时大脑中发生的事情。于是，他设计了一种精妙的技术来记录瞳孔大小。

扩大的瞳孔

-

赫斯已经证实，在看到有趣或令人兴奋的东西时，大多数人的瞳孔都会扩大。异性恋的男性和女性在看到一个有吸引力的异性时，瞳孔会扩大。同性恋的瞳孔在看到有吸引力的同性时会扩大。妇女的瞳孔在看到婴儿的照片或母亲和婴儿的照片时会放大。



在一个更精细的研究中，他向一组中的20名男性展示了同一个女人的两张照片，唯一不同之处是，一张照片中女性的瞳孔是扩大的，另一张中的瞳孔是收缩的。男人们对大瞳孔的照片表现出显著的偏爱，尽管之后大多数人都说这两张照片是相同的，但有一两个人说该女性是更温柔的、更漂亮的，以及更加女性化，而“其他”的女人是严厉的、自私的或冷酷的。他们对自己的判断做出“正经”的解释。赫斯得出结论，瞳孔的大小在非语言交流中十分重要。

奇怪的是，人们并没有明确地意识到更大的瞳孔让人们看起来更善良和更快乐。但赫斯的研究却发现，当要求成年人和儿童绘制悲伤和快乐的面部素描时，他们都给快乐的脸画上了更大的瞳孔。

数学问题

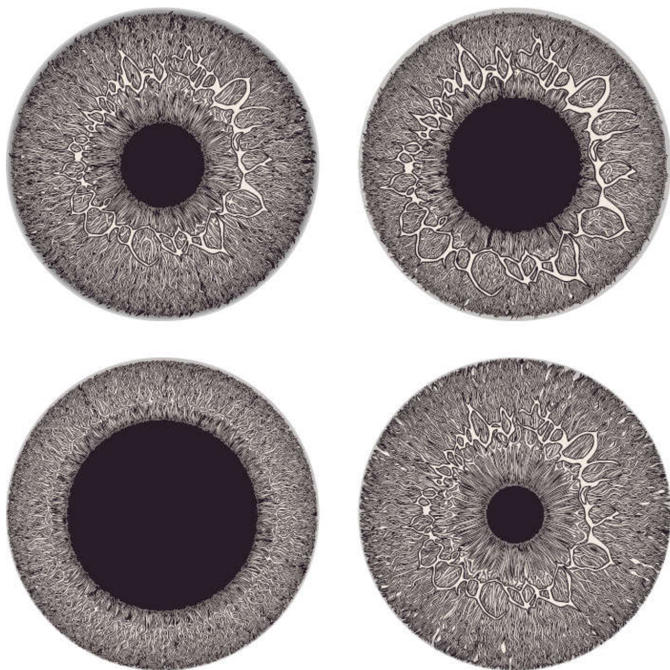
-

赫斯继续研究瞳孔的大小，这次是让被试努力解决数学问题。一

般情况下，在思考每个问题时，人们的瞳孔都会逐渐扩大，直到得出答案，瞳孔会在这时突然收缩回正常大小。

赫斯要求志愿者解决一系列难度逐渐增加的乘法：

7×8　9×17　11×21　16×23



扩大和收缩的瞳孔

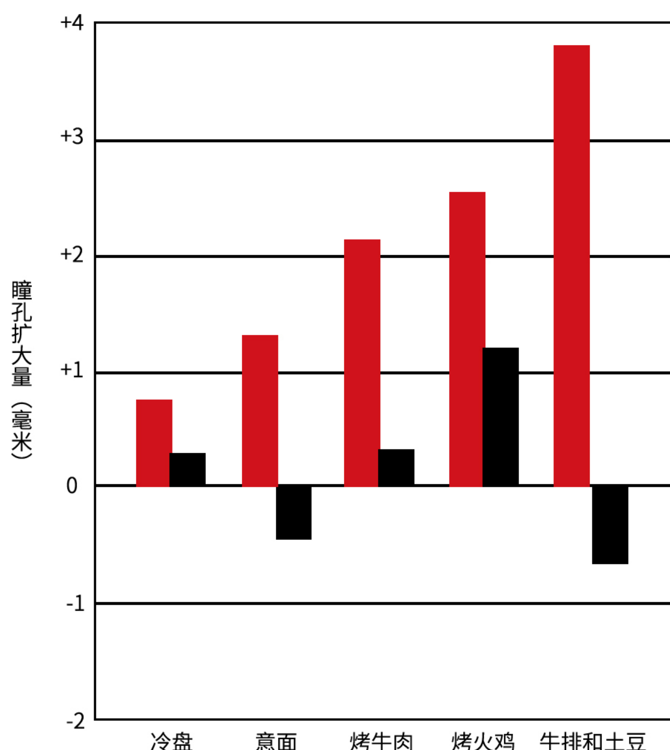
当他们在解决最简单的乘法时，瞳孔平均扩大4%。当他们在做最难的题目时，瞳孔扩大了30%。在所有情况下，瞳孔都会在之后回到以前的大小。换句话说，瞳孔的扩大程度似乎可以用来衡量有多少认知资源被使用。

后来的研究表明，在类似的任务期间，普通学生瞳孔的扩大量比优等生更多，这表明相对不聪明的人在解决问题时耗费更多的精力。

赫斯还向饥饿的人和吃过饭的人展示食物的照片，饥饿组的瞳孔扩大得更多。在吃过饭的组内，有些人的瞳孔实际上收缩了，因为他们真的不想再吃到更多的食物。

卡内曼[8]和研究生J.贝蒂要求被试重复数字序列——如538293。他们发现，被试在听到每个连续的数字序列时，他们的瞳孔逐步扩大，然后又逐步缩小，直到回到与以前相同的大小。同样的情况出现在被试拨打记忆中的电话号码时，尽管在这个记忆任务中，被试的瞳孔扩大得更多。

因此，尽管眼睛并不是心灵的窗户，但它们可以告诉我们一些有趣的事情，比如我们的大脑在做些什么。



1966

研究人员：

查尔斯·K.霍夫林

伊芙琳·布罗茨曼

萨拉·达尔林普

南希·格雷夫斯

切斯特·M.皮尔斯

研究领域：

社会心理学

实验结论：

在权威的命令下，被试会有意违反救人原则

医生，你确定吗？

霍夫林医院实验

1963年的米尔格拉姆服从实验提出了许多关于服从权威的问题。几年后，为了进一步探索这一领域，美国的精神病医生查尔斯·K.霍夫林进行了类似的实验。他和他的同事注意到，医生有时会触犯护士的准则，如在没采取必要防护措施的情况下走进隔离病房，或让护士做一些违反专业标准的事情。研究人员想知道这种行为是否会对护士造成影响。如果有医生的指示，护士会在明知道不对的情况下做出危及

病人生命的事吗？

他们在一家公立精神病医院的12个部门和一家私立精神病医院的10个部门进行了实验。他们还采访了一组控制组的护士和一组护理学校的学生，询问他们会在这样的情况下怎么做。



不存在的“阿斯妥芬”

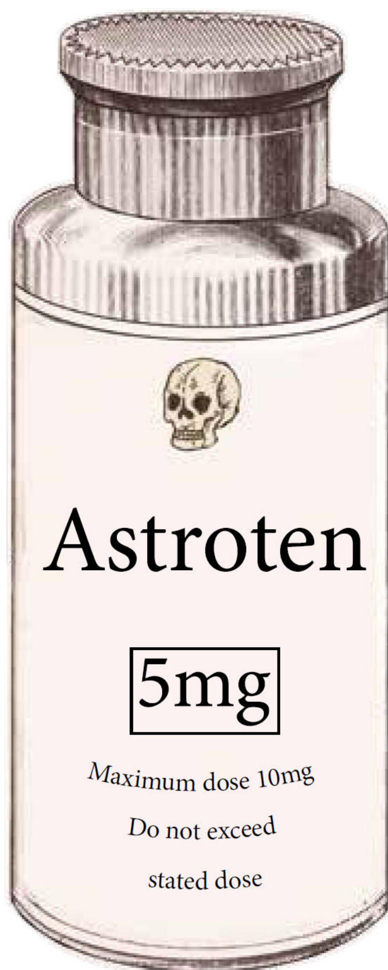
-

“史密斯医生”（是一个由实验者扮演的角色）从精神病科分别给22个夜间值班护士打了电话，询问药库里还有没有阿斯妥芬。阿斯妥芬实际上是假的药——只是无害的葡萄糖片，不会对身体造成任何损害。成包的阿斯妥芬片剂放在药库里。“史密斯医生”接着命令护士们给“琼斯先生”服用剂量为20mg的阿斯妥芬——他说事态紧急。他说，他迟到了，并会在十分钟后到达医院签署文件。

瓶上的标签写着：阿斯妥芬5mg，最大剂量为10mg。请勿超过规定剂量。

于是，护士面临着以下几个问题：20mg显然是过高的剂量；命令是通过电话传达的，这违反了医院的政策；该药物的使用未经批准；它不在病房的药物清单上并且没有使用许可；最后，并没有一个护士认识这个所谓的“史密斯医生”。

除此之外，那时是午夜；值夜班的护士只身一人，因此无法联系到医院的任何人。



你会怎么做？

-

假设你是那些护士之一。

在病人可能会有生命危险的情况下，你会怎么做？

在对照组中，12名护士中有10名说他们不会给药，21名护理学校的学生全都说自己会拒绝。然而，在研究实验中，22名护士中有21名按照医生的指令给病人服药，尽管事实上研究人员和医生把护士拦在了病床边，并向他们说明了情况。

电话里的对话大部分很短，大多数护士没有做出太多的反抗；没有人表现出敌对态度。事后，其中的16人认为他们本应做出更多抵抗。

回顾

-

只有11名给药的人承认他们知道规定剂量，其他10人没有注意到这点。但他们认为如果医生说没事，那就是安全的。几乎所有的人都承认他们不应该违反医院政策：他们不应该通过电话接收指令，他们应该确认“史密斯医生”是真实的，他们不应该给病人未经批准的药物。

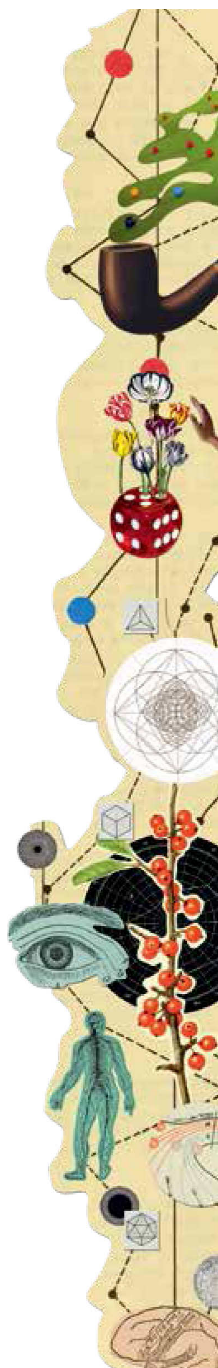
然而，大多数人说，通常的做法是毫无疑问地遵守医生的指示。15人回忆起类似的事件，并说，医生会对违抗指令的护士发火。

霍夫林和他的同事得出这样的结论：“如果医生下达指令，护士会有意违反医院的规定，并做出危及患者生命的行为。”

史蒂文·兰克和卡德尔·雅各布森在几年后做了一个相似的实验。他们要求护士给一位患者注射未达到致死剂量的过量安定。在这种情

况下，护士能够与同事交谈，并且18名中的16名护士拒绝给药。这一结果主要源于护士对药物的作用较为了解，并且与同事进行了联络，同时，该结果也源于护士挑战医生指令的意愿有所增加，以及护士自尊心的提升和对被起诉的恐惧。

1995年，艾略特·史密斯和戴安·麦凯的调查显示，美国医院每天的事故率为12%。许多研究者将这些问题归咎于护士对医生下达的命令毫无犹豫地顺从。



1966

研究人员：

南希·J.费利佩

罗伯特·索默

研究领域：

社会心理学

实验结论：

对个人空间的侵犯具有破坏性的影响

你是空间侵略者吗？

对个人空间的研究

个人空间指你周围对于他人而言非请勿入的区域。20世纪60年代，美国心理学家费利佩和索默花了两年时间，尝试坐得离陌生人很近，以观察他们的被试会在多久后起身离开。

他们最初无法决定在哪里进行实验，但最终选择了门多西诺州立医院，这是一所为精神疾病患者提供治疗的医院。“我们想到在中央公园的长椅上进行空间侵略实验或许会导致肢体冲突或被逮捕……（但是）在精神病院似乎可行，毕竟在这里任何事情都有可能发生。”

拉近距离和私人领地

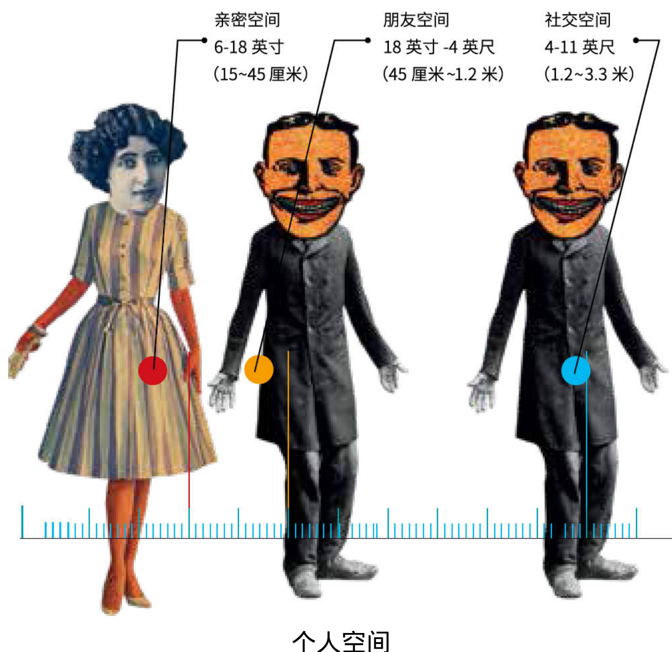
-

医院坐落在公园般的环境中，有方便的路径通往户外，因此患者们可以轻松地找到一个安静的空间独自待着。

费利佩和索默在室内和户外都进行了研究，选择了单独坐着、没有做其他事情（如阅读或打牌）的男性作为被试。一名男性研究员坐到被试旁边，一语不发，与对方保持约6英寸（15厘米）的距离。如果被试移动椅子或者往长椅外移动一点，研究员也将移动相同的距离并保持两人之间的狭小空间。

研究人员只是坐在那里并记录下发生了什么。他还记录了坐在远处的其他病人，作为控制组。他们一共尝试侵略了64个病人的空间，每次最多20分钟。通常，病人会立刻从研究人员身边走开，肩膀内扣，并叉起腰，把肘部撑在身体两侧。两分钟内，有36%的患者离开，而控制组的所有人都一动没动。在临近20分钟时，64%的患者走开了。他们还发现，相比于什么都不做，记笔记这一行为会更容易让受害者逃离。

有趣的是，某间病房中的五个病人有很强的领地意识，每天都坐在同一张椅子上。其中的两个病人坚决不离开，研究人员说他们坚定得就像“直布罗陀巨岩”[9]。



个人空间

性别的影响

-

接下来，研究人员决定在大学图书馆的大房间里进行进一步的研究，学生们在这里倾向于尽可能地彼此远离。

这次进行实验的是一名女性研究员，她走进去，故意坐在一个女学生身边，并且完全忽视该名女生。接下来，研究员会悄悄地靠近她，这样一来她们的椅子大约只相隔3英寸（7.5厘米）。然后，她弯下身子看书，在书上做笔记，并试图让她们的肩膀之间保持约12英寸（30厘米）的距离。这很有难度，因为图书馆的椅子很宽，并且学生偶尔会滑到椅子的另一边。

如果学生把椅子移开，研究员便跟随着她以一个角度向后推椅子，然后假装整理自己的裙子，以便于把椅子再次向前移动。

许多学生会立即搂紧自己的手臂，转过身，把胳膊肘放在桌子上，或者用成堆的书、钱包和外套作为将自己与研究人员隔开的障碍物。

研究人员最多在那里坐30分钟，在这段时间里，70%的受害者已经离开了。只有两名学生与研究员说话，并且只有唯一一名学生要求研究员移开。

研究人员还尝试坐在学生旁边，但保持椅子大约相距15英寸（38厘米），或肩膀之间相距2英尺（60厘米）的正常距离。她还尝试坐在离学生一个或两个位置以外，或坐到桌子的另一边。这些空间侵略都没有什么影响。

结论

-

费利佩和索默的结论是，从造成不适到引起冲突，对个人空间的侵略具有破坏性的影响。他们还引用了澳大利亚行为科学家格伦·麦克布赖德的结论，他观察到，当强势的鸟群靠近时，其他鸟类会看向别处并移到旁边去，给它们让出额外的空间。

被试反应的强烈程度受许多因素的影响，包括领地意识、侵略者和被试之间的主导——顺从关系，以及“对侵略者性意图的归因”（即便侵略者和被试的性别一直是相同的）。

他们还指出，个人空间的概念具有文化依存性。例如，日本人和来自拉丁国家的人比美国人之间站得更近。

1967

研究人员：

迈克尔·S.加扎尼加

罗杰·W.斯佩里

研究领域：

认知神经科学

实验结论：

对大脑的分割似乎创造了两个单独的意识

如果大脑被切掉一半会怎样？

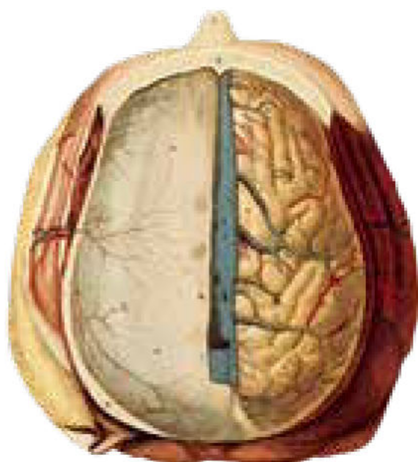
意识与功能性大脑半球切除术

20世纪60年代，一部分严重癫痫患者被施以一种极端手术（半球切除术）进行治疗。在手术中，外科医生将切断胼胝体（连接大脑左半球和右半球的神经纤维），以防止癫痫发作影响大脑双侧半球。

手术后，患者对他们身体左侧的触摸没有反应。当左手中被放入东西时，他们说它不在那里。但令人惊讶的是，他们一般恢复得很好，并能够回归正常的生活。他们的智商水平、语言和解决问题的能力没有太大的变化。

然而，美国心理学家迈克尔·S.加扎尼加和罗杰·W.斯佩里设计了一些实验，来证明某些变化真的发生了。

当病人右手拿着东西（例如勺子）时，他可以说出它是什么，并描述它。而当左手拿着时，他不能描述它，但如果给病人一堆类似的东西（如刀、叉等），他能够把它与另一个勺子匹配起来。

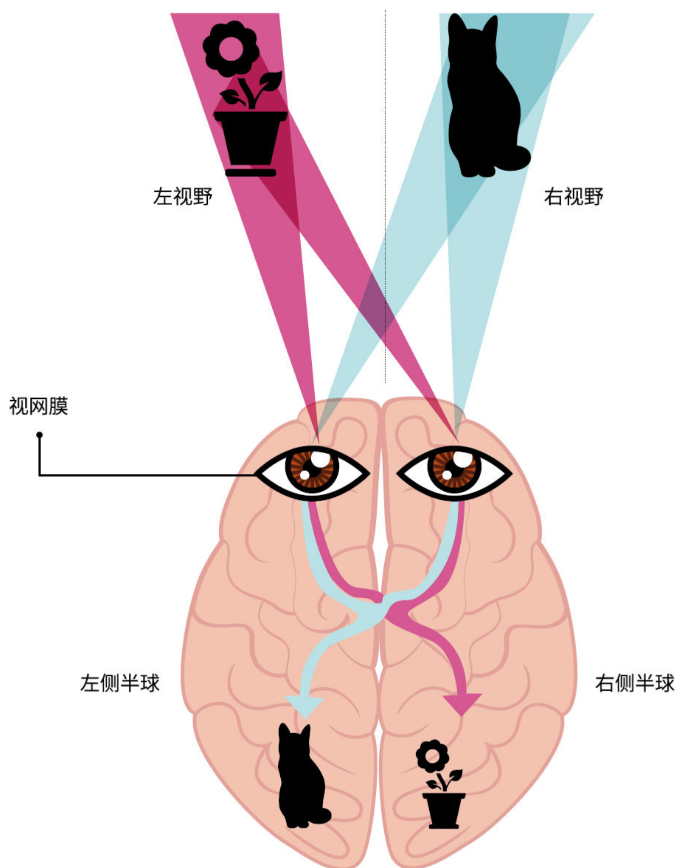


手术切断了胼胝体（蓝色区域），大脑的左右两侧被分隔开来。

患者坐在屏幕前面，注视着中心的一个点。这个定位十分关键，因为只要他们没有移动目光，屏幕左侧显示的任何东西都会到达大脑右半球，屏幕右侧的都会到达左半球。

当病人将他的视线固定在屏幕的中心，并且光斑在屏幕的两侧闪烁时，病人说，光仅在屏幕的右侧闪烁。这表明病人的大脑右半球是盲的，但奇怪的是，如果让病人用手指出左边的光斑，他是可以做到的。所以，他到底能否看得到光斑？

看起来，大脑的两个半球都可以接收视觉信息，但只有左半球可以用语言报告出来。



所有来自左视野（并非只是左眼）的视觉信息都会进入大脑的右侧半球，右视野的视觉信息进入大脑的左侧半球。

只向大脑的一侧发送信息

-

研究人员仅向一个半球的视野范围内呈现图片或文字，或是将物体放置在患者手中，但处于他的视线之外，这使大部分的信息都输送进相对的大脑半球。当图片或文字或触摸到的物体的信息呈现在左半球时，患者可以正常描述它。然而，当信息到达右半球时，对于从左视野中看到的或在左手中拿着的东西，病人无法做出语言或书面的反应——哪怕是简单的猜测也不行。

当在左侧呈现物体（再一次，如勺子）的图片时，他们能够用左手从隐藏的一组物体中挑出勺子——如果没有勺子，他们会挑出叉子——但他们仍然不能说出它是什么。

“HEART”在屏幕的中心闪烁。当问及他们所看到的情况时，病人回答“ART”，但要求病人用左手指出标记着HE和ART的卡片时，他们指向了HE。

交叉暗示

-

有时研究人员发现从一个半球到另一个半球的“交叉暗示”。当他们向右半球呈现红色或绿色的光斑时，病人只能做出简单的猜测，因为右半球不控制语言。然而，当他答错时，他会皱起眉头，摇摇头，说自己错了，应该是另一种颜色。显然右半球看到了一种颜色，但听到了另一个，因此产生了皱眉和摇头的反应——于是左半球知道它猜错了。右半球不总是次要的。当被要求绘制一个立方体时，患者可以用左手画，但右手却无法做到。由此可见，在这种情况下，大脑右半球在肢体控制方面表现得更好一些。

结论

-

加扎尼加和斯佩里得出的结论是，双侧半球的分离在一个大脑内创造了两个独立的意识，但即便在今天也没人能确认这一结论的正确性，或是弄清楚这一结论到底意味着什么。

1968

研究人员：

约翰·达利

比布·拉塔内

研究领域：

社会心理学

实验结论：

相对于单独的个体，处于群体中的人面对需要帮助的对象具有更少的责任感

旁观者为什么旁观？

发生危急事件时袖手旁观的个体

1964年3月，一个叫基蒂·吉诺维斯的年轻女子在纽约市街道被刺死。攻击持续了半个多小时。至少38个人目睹了事件经过，但没有一个人干预，甚至也没有一个人报警。到底为什么没有人伸出援手呢？

这也许是因为人们的冷漠，觉得多一事不如少一事，或者是对于攻击者的恐惧。一种可能性是，路人看到的只是正在发生的简单事实——他们可能觉得已经有人给警察打过电话了，或者帮助她的人正在前来的路上。

美国社会心理学家约翰·达利和比布·拉塔内对于目击者对这一可

怕事件的反应感到好奇，并着手调查是什么因素阻止了人们伸出援手。



癫痫发作实验

-

达利和拉塔内要求一群大学生被试参与一场关于个人问题的讨论。每名大学生分别加入不同规模的讨论组，并且为了避免尴尬，每名被试将处于通过麦克风和耳机通信的单独房间中。被试不知道他们听到的所有声音都是预录的。一些被试认为他们正在进行一对一的谈话，一些被试则认为自己在与一群人讨论。研究人员告诉被试，在讨论进行期间，他们会在房间外的走廊里等待。

第一个预先录制的声音会对他的组员坦白说，他很难适应城市生活，他会经常有严重的癫痫发作。其他声音会根据“讨论组”的大小播

放出来，被试也会发言。接下来，第一个人再次发言，告诉大家他的癫痫发作了。他的声音变得更大、更不连贯，听起来就像是窒息，紧接着便是如同死亡一般的安静。

几乎所有的被试都相信了这一切。那些认为他们是唯一听到了癫痫发作的人中，100%的人报告了这一情况，85%的人在“患者”停止说话之前就跑到了走廊里。

认为自己处于一个六人组的被试中，只有62%的人报告了这一切。然而，这些学生并不是冷酷或漠然的人——实验假设旁观者会毫无反应——但实际上他们的双手瑟瑟发抖，手掌被汗水浸湿。

“人群中”并不安全

-

实验组得出结论，相对于单独的个体，处于群体中的人不仅更少对紧急情况做出反应，而且人们的反应是与旁观者人数成反比的。旁观者的数量越大，有人出手帮忙的可能性便越小。

达利和拉塔内认为，当只有一个人目睹紧急情况发生时，只有他是能够提供帮助的人，他背负着必须做点儿什么的压力。当目击者数量增多时，责任压力被分散，个体认为会有其他人采取行动，又或者，他们可能会担心自己的干预会妨碍到专业人士。

1968

研究人员：

罗伯特·罗森塔尔

莉诺·雅克布森

研究领域：

社会心理学

实验结论：

高期待可以带来积极结果

心想就会事成吗？

皮格马利翁效应和神奇的自我实现预言

有许多关于自我实现预言的趣事。例如一群去打保龄球的年轻男人，如果他们“知道”马特在晚上会打得很好，于是马特便真的手气不错。但当他们“知道”杰克会搞砸一切，第二天晚上杰克果然没能做好任何事情。真的有科学依据可以支持这种迷信吗？

1963年，莉诺·雅各布森是旧金山一所小学的校长，在看过罗伯特·罗森塔尔的一篇文章后，她前去拜访了这位哈佛心理学家。他们试图一起探究学业成绩这种重要的东西是否受到教师期望的影响。

教室里

-

他们前往一所名为橡树学校的公立小学，在这所学校里，教师将每个年级的班分为三个等级：快班、中班和慢班。相对来说，慢班里会有更多男生和墨西哥裔儿童。教师是根据每个孩子的阅读能力和考试分数来分级的。

研究人员选择了350名儿童进行实验，他们将使用的测试题目夸张地称为“天才儿童哈佛测试”，并告诉老师说，这个测试旨在评估儿童的“天才水平”或“学习潜能”。

实际上，该测试是弗拉纳根一般能力测试（TOGA），这一测试可以在语言表达和推理能力的维度上测量智商水平。例如，测试会给儿童呈现西装外套、花、信封、苹果和一杯水的卡片，要求儿童用笔标记出“可以吃的东西”。

选择“潜力儿童”

-

研究人员没有告诉教师测试结果，而是从慢班、中班和快班中随机选择出五分之一的学生，并告诉每个老师，“哈佛测试”的结果表明这些孩子会在接下来的一年里突飞猛进，超过班上的其他同学。他们还禁止老师向孩子和他们的父母提到这个测试。

结果

-

一年后，他们给所有的孩子做相同的智商测试。六个年级所有学生的智商水平全部提升了，有超过8分的进步，但是“潜力儿童”的表现远优于同龄人。他们的平均得分为12.2分，比其余学生高出3.8分。影响几乎只局限于一年级和二年级，其中有21%的“潜力儿童”进步了30多个IQ分数点，而“普通儿童”中只有5%的人进步了这么多。

事实上，只有一年级和二年级出现显著结果的原因可能在于教师对较小孩子的影响更大一些。年龄较小的孩子可塑性更高，更有改变的可能，或者是因为他们在学校里还未获得“确定”的评价。

年级	控制组		“潜力儿童”		
	人数	增长值	人数	增长值	优势差值
1	48	+12.0	7	+27.4	+15.4
2	47	+7.0	12	+16.5	+9.5
3	40	+5.0	14	+5.0	0
4	49	+2.2	12	+5.6	+3.4
5	26	+17.5	9	+17.4	-0.1
6	45	+10.7	11	+10.0	-0.7
总数	255	+8.4	65	+12.2	+3.8

快、中、慢班的儿童没有显著差异；在中班和慢班上课的儿童与快班的儿童表现得一样好。女生在推理测试中的表现略优于男生：“潜力女生”比普通女生高出17.9分，而“潜力男生”表现得要稍差。

结论

-

罗森塔尔和雅各布森观察到的现象被称为“皮格马利翁效应”。当教师期望某些孩子有更好的发展时，那些孩子便真的会这样表现，这是一个支持“自我实现预言”的证据。

但是为什么会有这样的效果呢？或许是因为教师对“潜力儿童”持有不同的态度，他们或许给予了“潜力儿童”更多的关注，并下意识地做出鼓励学生获取成就的行为。

有趣的是，据称该研究的灵感来自于一匹表演马。在20世纪初，一匹被称为“聪明的汉斯”的马因它出色的阅读、拼写和进行简单的心算的能力而闻名。例如，当被要求计算3＋4时，“聪明的汉斯”会用它的蹄点七次地面。

心理学家奥斯卡·芬格斯特对此进行了彻底的调查，并得出结论，动物可能会受到观众潜意识反应的指导。当它得出正确答案时，观众的反应会有所改变，汉斯便知道它点地的次数已经够了。


01234

1970

研究人员：

玛丽·D.索尔特·爱因斯

沃斯

西尔维亚·M.贝尔

研究领域：

发展心理学

实验结论：

婴儿需要母亲来作为探索世界的安全基础

婴儿在“陌生情境”下会怎么做？

婴儿的分离焦虑

哈里·F.哈洛饱受争议的实验证明，小猴子会在一个柔软的、母亲般的物体存在的前提下探索周围的环境。一旦没有这样的母亲，它们就变得楚楚可怜并常常退缩。

玛丽·爱因斯沃斯和西尔维亚·M.贝尔想知道人类婴儿是否会有类似的表现，所以她们在实验室中建立了一个“陌生情境”。实验室的中心有一片大的空间，摆了三把椅子——在房间里最远的那把椅子上放着玩具，另外两把在门附近，分别是母亲和一个女性陌生人的位置。婴儿躺在椅子所围成的三角区中间。然后他们在每个婴儿身上重复了

八个实验片段：

第一片段（母亲、婴儿、观察者）

母亲与一名观察者把婴儿带到房间里，然后观察者离开。

第二片段（母亲、婴儿；三分钟）

母亲把婴儿放下，然后静静地坐在她的椅子上，只有当婴儿寻求她的关注时才参与进来。

第三片段（陌生人、母亲、婴儿）

一名陌生人进入房间，静静地坐一分钟，与母亲交谈一分钟，然后逐渐接近婴儿，给他一个玩具。三分钟后，母亲悄悄地离开了房间。

第四片段（陌生人、婴儿；三分钟）

如果婴儿开心地玩耍，陌生人则不参与进来。如果婴儿不活跃，陌生人便试图用玩具逗婴儿。如果婴儿表现出沮丧，陌生人则试图分散婴儿的注意力或安慰他。

第五片段（母亲、婴儿）

母亲进入房间并在门口暂时停留，以给婴儿一个自发的反应机会。陌生人随后悄悄离开。一旦婴儿再次开始玩玩具，母亲便停下来和婴儿说“再见”，然后再次离开。

第六片段（只有婴儿；三分钟）

婴儿被独自留在房间里，如果婴儿表现出极度的消极情绪，该片段提前结束。

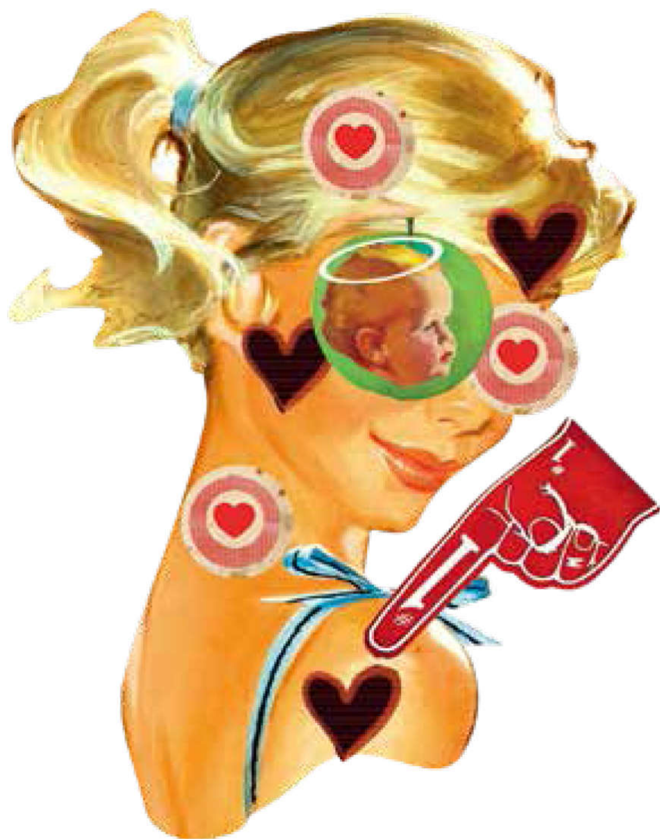
第七片段（陌生人、婴儿；三分钟）

陌生人进入房间，和第四片段中做出同样的表现，如果婴儿反应过激则削减该片段。

第八片段（母亲、婴儿）

母亲返回房间，陌生人离开。观察到母婴团聚之后，实验情境终止。

他们对56名11个月大的婴儿进行了上述实验。研究人员通过单向镜进行观察和记录。



探索行为

-

研究人员特别感兴趣的是婴儿爬了多少（“运动”），玩了多少玩具（“操控”），花了多少时间看着玩具和房间的四周。

在第三片段期间，当陌生人进入房间时，婴儿所有形式的探索行为都急剧减少。当母亲回来时，这些探索行为看起来又增加了，在第四片段和第七片段中，陌生人没有使婴儿的探索行为有所增加，实际上，在第七片段中，婴儿的探索行为下降到了最低水平。

在第二片段期间，婴儿花了很多时间看着玩具，只是偶尔看母亲一眼，以确保她仍然在那里。然而，在第三片段中，婴儿花了更多的时间去盯着陌生人看。

哭泣、紧贴和抵抗接触

-

在第二片段中婴儿有轻微的哭泣，这表明陌生情境本身并不太令他们惊恐。第四片段中当母亲离开时，婴儿有一些哭泣，第五片段中较少，在第六和第七片段中哭得更多，并且第七片段的陌生人无法安抚他们。

在第二片段和第三片段中，婴儿只是稍稍贴着母亲，但在第五片段，特别是第八片段，婴儿在与母亲分离又重聚后表现出更多的热情。

结论

-

婴儿通常依附在自己的母亲身上。在上述实验中，当母亲在房间

里时，宝宝会靠近新的东西并进行探索，既不会被奇怪的情况吓到，也没有紧紧贴着母亲。当母亲离开时，婴儿的探索行为减少，并表现出更多的依恋行为，包括哭泣和寻找母亲。

研究人员得出结论："在没有分离的威胁时，婴儿会将母亲视为自己探索行为的安全基础，甚至在陌生情境下也不会表现出任何的惊恐——只要母亲还在身边。"

5．认知革命：1971—1980

在1967年的书中，德国认知心理学家乌瑞克·古斯塔夫·奈瑟尔质疑了行为主义的实验范式，这引发了其他心理学家的思考。

他们开始意识到，如果想要弄清是什么使人们思考，他们必须先弄清头脑中到底发生了什么。所谓的“认知心理学”开始将感知、语言、注意力、记忆以及思维纳入自己的概念中。认知科学正逐渐渗透到心理学的各个领域中，并给心理学传统的研究方法带来新的革命。

彼得·沃森的纸牌问题帮助我们重新梳理了自己的推理方式；伊丽莎白·洛夫特斯关于错误记忆的工作成果引发了之后几十年对该问题的深入研究；丹尼尔·卡内曼和阿莫斯·特沃斯基则告诉人们为什么我们会做出错误的决定。

1971

研究人员：

菲利普·津巴多

研究领域：

社会心理学

实验结论：

监狱的严酷环境导致了被试的残忍与暴力，而非他们天性如此

好人会变坏吗？

环境对行为的影响和斯坦福监狱实验

菲利普·津巴多是詹姆斯门罗高中的学生，同时也是斯坦利·米尔格拉姆的同事。博士毕业以后，津巴多相继在耶鲁大学、纽约大学和哥伦比亚大学教书，之后成为斯坦福大学的教授，在那里，他进行了一项令他闻名于世的实验。

津巴多对关于监狱中残忍和暴力的报道十分感兴趣，他想要弄清囚犯是否本身就是暴力的，以及监狱看守是否天生是独裁者或虐待狂。又或者，其实是监狱的环境使这些性格特质得到了演变和显现。

建立临时监狱

-

他在当地的报纸上刊登了一则广告，招募男性志愿者参加有关监

狱生活的心理学研究。他面试了70个申请者，并选出了24名大学生，他们都是来自于中产阶级的、身体健康的男性。他告诉这些人研究将持续一至两个星期，每天的报酬是15美元。他随机抽取了一半的人作为“囚犯”，另外一半的人则作为“看守”。

同时，研究人员为了这个实验专门咨询了“监狱生活”方面的专家（其中一个人曾在监狱中服刑17年），并在斯坦福大学心理学系的地下室建造了一所“监狱”。“监狱”中包含三个房间，每个房间只能摆下三张床，房间的门特别厚重，由钢质的栏杆构成，上面有牢房编号。走廊成为了“运动区域”，一个小衣柜成为所谓的“禁闭室”。

“囚犯”必须经过许可才能前往卫生间，他们会被蒙住双眼，然后沿着走廊走下去。牢房被监听，房间中发生的一切通过一个小洞被录制下来。

每个“囚犯”都在家里被逮捕和起诉，“警察”宣读了他们的合法权利，把他们双臂展开压在警车上搜身，再把他们用手铐铐起来，邻居们瞪着眼睛惊恐地看着这一切。在“监狱”中，“囚犯”被搜身，脱光所有的衣服，“警察”用驱虫喷雾喷他们——这一行为旨在羞辱他们。接着，每名“囚犯”得到了一套制服：一顶绒线帽，一件要一直穿着的罩衫，没有内衣。每名“囚犯”的身份编号被印在衣服的前面和后面。“囚犯”的右脚踝上拴着一条重重的铁链。



“监狱看守”被分发了卡其色的制服和黑色的墨镜。

羞辱

-

津巴多为了在极短的时间内产生同样的羞辱效果，用绒线帽替代了真实监狱里的剃头。脚上的锁链用于提醒“囚犯”他们正处于一个高压的环境中，同时也为了让他们在晚上无法舒服地入睡。

“监狱看守”被分发了卡其色的制服、黑色的墨镜、口哨和警棍，但他们没有给予“看守”任何具体的指导和训练。

实验开始时有九个“囚犯”，九个实行八小时轮班制的“看守”，每次有三个人当班。在第一天凌晨的2时30分，“囚犯”被刺耳的口哨声吵醒，这是他们许多次“报数”经历中的第一次。一些“囚犯”还没有完全进入他们的角色，不遵守“看守”提出的纪律，“看守”报复了这些“囚犯”，命令他们做俯卧撑，有时还会站在“囚犯”的背上来让惩罚更加痛苦。



“囚犯”的叛乱

-

第一天平安无事，但在第二天早晨，“囚犯”开始了反抗。他们拿掉了绒线帽，并用床堵住了门，把自己关在了牢房里。“看守”用灭火器喷射冷冻的二氧化碳来制伏叛乱者。他们脱光了“囚犯”的衣服，让他们赤身裸体，还拿走了“囚犯”的床，并把领头挑事的“犯人”关进了“禁闭室”。

随后，“看守”决定采用心理战术来重新获得控制权。他们带走三个叛乱的“囚犯”，把他们放置在有床的牢房里，给他们特别的食物，而让其他人看着。这使得其他“囚犯”对养尊处优的三个人有了很大的意见，他们大多数人的挫败感和愤怒都开始变成了针对彼此而非“看守”。

同时，“看守”变得更加心狠手辣，甚至剥夺了“囚犯”最基本的权利：有时他们会禁止“囚犯”去洗手间，只给他们的牢房里放一个桶。牢房里臭气熏天。

不到36个小时，一名“囚犯”便表现出了剧烈的情绪波动。尽管研究人员也已经开始表现得与“监狱看守”越来越像——他们不相信“囚犯”真的感到痛苦，但最终还是允许该名被试退出了实验。

随着一天天过去，“看守”变得越来越残暴，特别是在晚上他们认

为没有人在看着的时候。与此同时，最初还与“看守”进行对抗的“囚犯”则越来越低落。

实验终止

-

情况愈发失控，以至于津巴多不得不在第六天停止实验。对此，所有的“囚犯”都很高兴，但“看守”却不然。

津巴多写道：

> “尽管对模拟监狱的观察只进行了六天，但我们足以看到监狱是如何去人性化，把人像物体一样对待，并把绝望一点点灌输给那些可怜的犯人的。从监狱看守们的身上，我们可以看到普通人究竟是如何从善良的杰基尔博士逐渐转变成为邪恶的海德先生[10]的。
>
> “关键的问题是，我们要如何改变制度以使其提升人的价值，而不是让它将人性摧毁。”

1971

研究人员：

彼得·沃森

黛安娜·夏皮罗

研究领域：

认知，决策

实验结论：

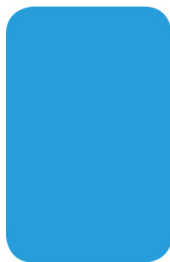
解决抽象问题很难，但将其置于具体情境下时我们却觉得很简单

你能选出最符合逻辑的答案吗？

沃森的选择任务：具体情境下的抽象推理

请思考下述逻辑问题：

每张卡片的一面是彩色的，另一面有一个数字。命题为：所有蓝卡的背面都有一个偶数。为了检验这个命题是否为真，你需要翻开哪几张卡片？





3 8

请小心，至少有70%的人回答错了。

你会翻开哪些卡片？

彼得·沃森对于人们如何解决逻辑问题很感兴趣，他在1966年首次提出这样的问题，并演示了如何将其转换为纯粹的逻辑问题，它可能会帮到你，也可能不会。

在开篇的问题里，p代表蓝色卡，q代表偶数；所以p对于第一张卡是真的，对于第二张卡是假的，对于第四张卡来说q是真的，而对于第三张卡来说q是假的。

因此，你必须翻开蓝卡，看看它背面是否有一个偶数。你也要翻开写着3的卡，因为q对于它来说是假的，3不是偶数。但你无须翻开8，因为它的背面可以是蓝色，哪怕是粉红色（或黄色，或任何其他颜色）也依然没关系，这并没有违反命题。

所以正确的答案是，翻开蓝色和3这两张卡。

沃森和夏皮罗一共让学生们做了24个这样的测试。他们只得到了七个正确答案（29%）。学生太过关注于验证命题为真，忽视了证伪。换句话说，他们忽视了通过翻转q为假的卡片来推翻命题的机会。

研究人员想知道涉及现实生活的问题是否容易一些，于是设计出了所谓的“具体”问题。他们将32名本科生分为两组。抽象组中的那些人得到与上述问题类似的题目：四张卡一面是字母，另一面是数字。摆在面前的卡片分别是D、K、3和7，命题为“一面是D的卡在另一面是3”。如果要判断命题的真假，你要翻过哪些卡片？

你的回答是什么？答案就在这篇文章的结尾。

具体组的学生被告知，实验者在特定的日子里做了四次旅行。她声称，每次她都是乘汽车去曼彻斯特。四张卡代表她的四次旅行，卡片的一面写着城市，另一面写着交通工具。

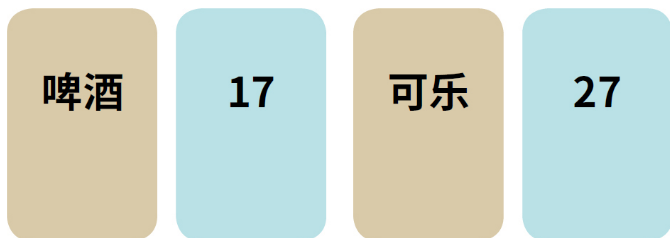
曼彻斯特　　利兹　　火车　　汽车

结果

-

抽象组平均只有2个人答对了问题（12.5%）。具体组的表现更好，有10个人答对了问题（62.5%）。研究人员得出结论，具体语境下的问题更容易，因为它处理的是实实在在的材料，而不是抽象的字母和数字，词语之间存在联系；所有的词都和旅行有关，并且题目中的情况可以在现实生活中发生。

最简单的一道题是你每次喝酒时都会遇到的情况。假设你在酒吧，21岁以下的人不允许喝啤酒。每张卡代表一个在喝东西的人：



如果要判断这四个人是否违法，你必须翻转哪些卡片？你大概会认为这个问题十分简单。

结论似乎是，当问题涉及社会规范时，我们可以轻而易举地解决。这或许是因为我们对社会情况更熟悉，或者说，我们的大脑进化

得更善于解决具体的社会问题，而不是抽象问题。

正确的答案是D和7，曼彻斯特和火车，啤酒和17。

1973

研究人员：

大卫·L.罗森汉恩

研究领域：

社会心理学

实验结论：

部分精神专科医生并不能区分正常人和精神疾病患者，并表现出危险的去人性化行为

专业医生能分辨出“真假精神病”吗？

罗森汉恩实验和《精神病房里的正常人》

1973年，美国心理学家大卫·L.罗森汉恩发表了一篇名为《精神病房里的正常人》的文章，详细探讨了精神疾病诊断标准的有效性。罗森汉恩说服了八个完全正常的人把自己送进美国各地的精神病医院。这些“假病人”包括一名心理学专业的学生、三名心理学家、一名儿科医生、一名精神科医生、一个画家和一个家庭主妇。

幻听

-

首先，假病人拨打了医院的预约电话。他们所描述的唯一的症状就是他们会听到声音。他们说，声音通常是模糊的，但听起来似乎

是“啪”“嗒”和“砰”，此外，他们还谈了自己的生活、家庭和亲密关系。

他们都立即得到了令人担忧的诊断，但他们后来并没有表现出任何异常症状。当医院的工作人员问他们有什么感觉时，他们回答还好，没有再听到任何声音。他们都渴望出院，并在护士的报告中被描述为“友好”“合作”和“没有表现出异常的迹象”。他们接受了药物治疗，尽管并没有真的把药吃下去。医院总共发了2100粒各种各样的药物，但他们把药都偷偷扔在了厕所里，在医院里，他们经常发现真正的病人也会把药片偷偷藏起来。然而，尽管他们的一切表现都理智又正常，但装病的事实从未被发现。他们中的一个人被诊断为躁郁症，其他人被诊断为精神分裂症。在平均19天后，他们得到了“精神分裂症有所缓解”的诊断，终于出院了。

于是，精神病人的标签被彻底贴在了他们身上，并会一直影响他们以后的生活。







写笔记

-

他们花了大量的时间记录自己在精神病院里的经历。他们在最初偷着写，但在不久以后，他们发现医院的工作人员对此根本不感兴趣，也从来没有看过他们的笔记，于是后来他们在白天的房间里公开地写。一位护士每天都在病例中说他们“沉溺于写作”。显然这一行为被认为是精神分裂症的症状。

在每个医院中，医护人员与患者都被严格隔离。医护人员有自己的生活空间，包括食堂、浴室和会议室。假病人称这些被玻璃围起来的区域为“笼子”，在他们的记录中，医护人员平均出现的时间只占了工作时间的11.3%。

并且，当医护人员出现时，他们极度回避与病人交谈。当假病人向他们提问，比如“某某医生，麻烦问一下，我什么时候可以出院？”最常见的回答是“早上好，戴夫。你今天怎么样？”医生说完就走了，并不观察病人的反馈。

罗森汉恩生动地描述了医院的去人性化：

> “到处都能体会到无力感。被诊断为精神病后，患者被剥夺了许多合法权利……个人隐私被侵犯，医护人员可以随意进入患者的宿舍，检查他们的财物……患者的个人卫生和排泄物经常受到监督。甚至有的厕所连门都没有。”

患者的怨言

-

虽然“假病人”从来没有被工作人员发现，但他们却经常被其他患者拆穿。最初的三次住院治疗期间，病房里1/3的患者发现了假病人的真相：其中一些患者观看他们记笔记，并对他们说：“你不是疯子。你是记者或者教授。你是来医院视察的。”

罗森汉恩写道：

“识破真相的不是医生而是精神病人，这一事实表明了巨大的问题。医生在假病人住院期间未能发现他们神志正常或许是由于医生……比起将病人误诊为正常人，更倾向于将健康的人误诊为病人……因为把病人错当成健康人显然是更危险的。出于极高的警惕，医生会怀疑健康的人身患疾病。

每当已知与未知的比率接近零，我们便往往会制造出‘知识’，并假装自己比实际上知道得更多。好像我们总是很难承认自己的无知。对行为和情绪问题的诊断和治疗的需求是如此巨大。

但是……我们一直给患者贴上‘精神分裂症’‘躁狂抑郁’和‘疯子’的标签，就好像从这些词语中我们已经掌握了这些问题的本质。实际的情况是，我们在很久前就知道诊断通常是无效或不可靠的，但我们却仍在持续地使用它们。现在，我们都知道了，我们并不能区分精神异常的患者和正常人。”

1973

研究人员：

马克·R.列波尔

大卫·格瑞尼

理查德·E.尼斯贝特

研究领域：

社会心理学

实验结论：

奖励可以破坏孩子对某些活动本来存在的内在兴趣

奖励真的有效吗？

金色星星带来的困扰

在学校里，孩子经常被奖励金色小星星或其他“小礼物”，但是这有点儿危险，因为这些奖励反而可能会降低他们的热情——“我做算术题是为了获得一个小星星，而不是因为它很有趣”。

列波尔和他的同事们决定在斯坦福大学校园里的一所幼儿园中检验这一理论。他们选择了一群来自于中产阶级的白人儿童，这些孩子都对绘画感兴趣。孩子们被随机分成了三组。他们预先告诉A组中的每个孩子，他将获得一个漂亮的优秀选手证书，证书上装饰着金色的星星、红色的丝带，还有孩子和学校的名字。B组中的每个孩子会获

得同样类型的奖励，但是他们要等到绘画完成之后才知道。C组儿童没有任何奖励。



实验阶段一

-

每次实验都会有一个孩子被单独带进房间，研究人员会邀请他用一套彩色的荧光笔画画，在平时，孩子们并不总会有这样的好机会。如果被试儿童来自A组，研究人员会拿出上述奖励的样品，并告诉孩子，他们会得到一份属于自己的奖励。而来自其他组的被试儿童只是画画而已。

6分钟后，研究人员会中断实验，A组和B组的孩子会在写下自己的名字和学校之后拿到优秀选手证书。他们一起把证书挂在了一面特别的“荣誉墙”上——“这样每个人都会知道你是一个好画手啦！”

实验阶段二

-

一周后，研究人员开始了实验的第二阶段。首先，老师在一个小六边形桌上放置一套专用笔和白纸。教室里还有一些其他的活动材料，包括积木、画架、家务用品，有时还会有橡皮泥。当这群孩子进来时，他们可以自由地做任何他们喜欢的事情。在第一个小时里，观

察员从单向镜后面观测孩子们在六边形桌旁进行的活动。

最终，共有51名儿童（19名男孩和32名女孩）完成了实验。其中18名儿童来自A组，18名来自B组，15名来自C组。

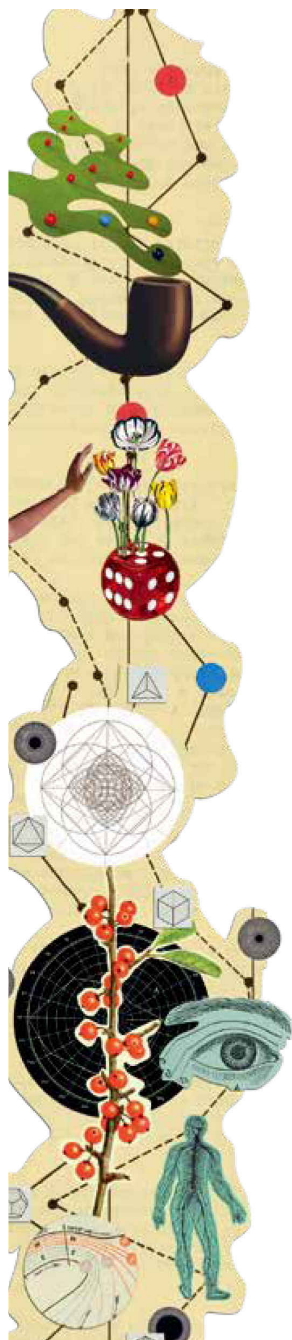
结果预测

-

研究人员预测，对于奖励的承诺会使孩子对任务的兴趣减弱。实验结果证实了这一假设。A组中的孩子事先被告知他们会得到奖励，他们后来对用彩笔画画的兴趣减少了许多——事实上，他们花在画画上的时间大约只有其他儿童的一半。女孩和男孩之间没有明显的差别。

B组和C组的儿童对使用彩笔画画的兴趣都比实验开始前高。

儿童在实验期间绘制的画作得到了从1到5的评分，分数由3名不知道儿童所属组别的评委评定。A组的平均分为2.18分；B组为2.85分；C组为2.69分。即在得知自己会获得外在奖励的情况下，A组儿童的画比其他儿童更差。



如何激励

研究人员得出结论：

“……（这个实验）对于使用外在奖励来增强或维持儿童兴趣的场景意义重大。尤其是在传统的课堂上，在那里，外在奖励系统（无论是分数、金色星星，还是特权奖励）被用于整个儿童群体。

“事实上，儿童，至少是一些儿童，对学校安排的许多活动存在内在兴趣。本研究表明，在此类活动中设置外在激励系统将会破坏某些儿童的内在兴趣，比如那些在一开始还带有些许热情的儿童。”

1974

研究人员：

伊丽莎白·F.洛夫特斯

研究领域：

记忆

实验结论：

事件发生后的信息会影响我们对事件本身的记忆

你的记忆有多准确？

错误记忆和误导信息效应

你的记忆是准确不变的吗？如果回答是，那么你或许就错了。

伊丽莎白·洛夫特斯教授发现，每当她参加一个活动并在结束之后询问大家的意见时，不同的人往往给出不同的描述。这种情况常见于道路交通事故后，目击者们的证词通常是许多各不相同的版本。

法庭上的目击者

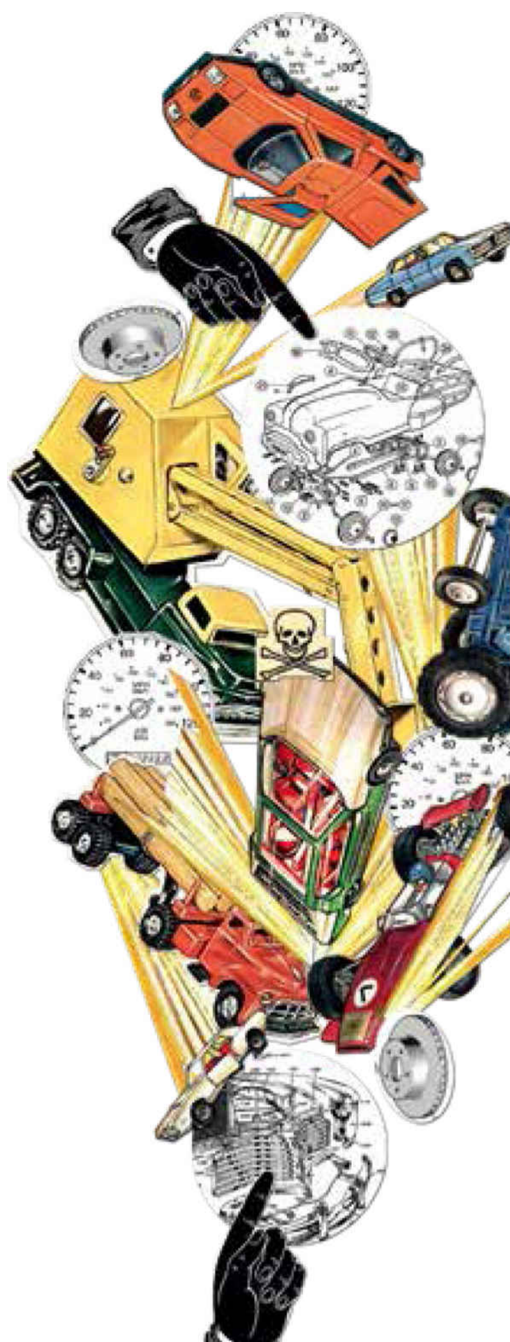
-

1973年的一个案例中，在法庭上，17名证人都指认一个人射杀了警察。然而后来事实证明，被指证的人在当时甚至都没有出现在犯罪现场附近。

洛夫特斯对此的解释是："当我们经历事件时，我们并不是将其简单地储存在记忆里，然后在接下来的某一个时间进行检索，并查看当时都存储了些什么。恰恰相反，在回忆或再认时，我们用来重建事件的信息来源各异，包括事件给我们带来的最初感觉和我们在事后所做的推论。经过一段时间之后，不同来源的信息会被整合，所以目击者根本无法断言自己可以掌握事件的'真相'。"

换句话说，大脑吸收了对于事件的实际体验，并编造了一个似是而非的故事，以解释当初发生了什么。如果有其他信息或建议在之后加入，大脑便会重构记忆，以适应输入的新信息。洛夫特斯注意到，提问的形式似乎可以改变目击者的记忆，于是她设计了一个实验，以探究这种情况发生的可能性。她向100名学生展示了一段描绘了多起车祸的短片。





诱导性提问

看过短片之后，学生们填写了一份问卷，其中包括六个关键问题：其中三个关于短片中出现的物品，另外三个关于没有出现的。

一半的被试得到的关键问题的形式是“你是否看到了一盏破碎的车前灯？”另一半被试被问到的是“你看到那盏破碎的车前灯了吗？”第二个提问形式暗示着确实存在一盏破碎的车前灯，不管它是否实际出现在了短片中。被问到含有“那盏灯”问题的目击者更容易报告自己看到了短片中实际不存在的东西：“那盏灯”组里15%的人回答了“是”，而“一盏灯”组只有7%的人回答“是”。换句话说，只是“一盏灯”与“那盏灯”的不同就改变了8%的学生的记忆。另外，“一盏灯”组中有38%的人回答“不知道”，而在“那盏灯”组中为13%。

为了继续探究在“问题”上其他微小的改变是否影响数量上的判断，她向45个人展示了七段关于交通事故的短片。观看其中一部短片的一些观众被要求填写一份问卷：“当他们撞毁/撞击/碰撞/碰到/互相接触时，汽车的速度有多快？”

不同情况下估计的结果有显著的差异。

不同“动词”下的估计速度均值	
撞毁	65.3千米/小时
撞击	62.9千米/小时
碰撞	60.9千米/小时
碰到	54.4千米/小时
接触	50.88千米/小时

记忆修正

另一组学生观看一个类似的短片，并被问到当车辆互相“撞”或“撞

毁”时的速度有多快。一个星期后，他们被问到是否在短片中看到了任何碎玻璃，尽管短片中没有任何碎玻璃。回答看到了碎玻璃的学生中，被问到“撞毁”问题的人数是被问到“撞”问题的两倍。

洛夫特斯总结道：

> “不仅对速度的估计有误，目击者对时间和距离的估计都是不准确的。然而在法庭上，他们却必须做出定量的判断。事故调查员、警察、律师、记者和其他询问目击者的相关人员都应该牢记问题措辞所具备的导向性。当询问目击者时，你所得到的回答并不一定是他真实所见。”

误导信息效应

-

人们的记忆因事后的信息和暗示而变得不准确的现象被称为“误导信息效应”，洛夫特斯的研究结论开启了科学界对“虚假记忆”几十年的研究。

1974

研究人员：

阿莫斯·特沃斯基

丹尼尔·卡内曼

研究领域：

认知，决策

实验结论：

当结果未知时，认知偏差可能导致我们做出不好的决定

怎么做出艰难的决定？

“启发法”和潜在风险评估

当无法得知确切的结果时，大多数人都会觉得做决定很艰难，并且他们经常犯错。于是，以色列出生的心理学家丹尼尔·卡内曼和阿莫斯·特沃斯基试图对人类行为的矛盾之处进行研究。

启发法

-

两位心理学家发现，当人们必须对不确定的未来做出判断时，会倾向于使用“启发法”来解决问题。这是一个以简单有效为原则的心理捷径，通常表现为侧重于问题的一个方面而忽略其他方面。

例如，假设你被告知“史蒂夫非常内向害羞，总是乐于助人，性情温和又整洁，他寻求秩序性和结构性，注重细节”。除此之外，你还得知史蒂夫可能是一名农民、推销员、航空公司的飞行员、图书馆的管理员或者医生。你认为史蒂夫最可能从事上述的哪个职业？

你可能猜测他是图书馆的管理员，但农民的数量要比图书馆管理员多得多，因此，尽管史蒂夫拥有上述的性格，但他实际上更有可能是一名农民而非图书馆员。这就是“代表性启发法”。

在一个实验中，研究人员向一组学生描述100名专业人士的其中之一：“迪克已经结婚但没有孩子。他能力强，工作积极，他决心在自己的领域干出一番事业，他的同事们都很喜欢他。”

一半学生被告知，这100名专家小组由70名工程师和30名律师组成；另一半学生则被告知是30名工程师和70名律师。当被问及迪克是律师还是工程师时，所有学生都说可能性各为50%。他们忽视了迪克更有可能从事专家组中数量更多的那个职业：可能性是70%对30%。



可能性是多少？

-

思考一个问题，在一篇普通的英语散文中，字母K更可能作为单词的第一个字母还是第三个字母出现？

研究者向152名被试提出了这个问题，105个人（69%）表示更可能是第一个字母。事实上，K作为第三个字母出现的频率是首字母的两倍。问题是，想到以K开头的单词很轻松，而想出以K为第三个字母的单词却比较困难。L、N、R和V也是如此。这被称为“可得性启发法”，因为这一方法依赖于最先想到的例子。

回中趋势

-

请设想，有一大批儿童接受了两个等效版本的能力测验。假设你从第一个版本中挑出十个最好的，你可能会发现他们在第二个版本里表现得差一些。而如果你从第一版里选择十个最差的，你可能会发现他们第二版的得分还不错。这被称为“回中趋势”，由弗朗西斯·高尔顿(11)在19世纪首次提出。

十个考得最好的学生可能真的比其他所有人都优秀，但也有可能只是因为运气好而多得了几分，他们可能更接近于中等水平，或是说平均值。结果是，这十个最好的学生可能会掉回到中间一点点，十个最差的会往前一点点。

研究人员指出，忽略这一点可能会导致危险的后果：

在有关训练的讨论中，经验丰富的教练指出，如果对平稳着陆的学生进行表扬，他们通常在下一次着陆时表现得很糟；然而，如果在他们着陆不好时严厉批评，他们通常会在下一次有所进步。于是教练认为，口头表扬不利于学习，而口头批评则对学生有利。但这样的结论并不合理，因为学生的表现存在向平均值靠拢的回中趋势。

美国地区各种死亡原因的概率		
死亡原因	被试估计值	真实值
心脏病	22	34
癌症	18	23
其他自然原因	33	35
全部自然死亡	73	92
事故	32	5
谋杀	10	1
其他非自然死亡	11	2
全部非自然死亡	53	8

你会如何死去？

-

研究人员询问了120名斯坦福大学毕业生关于各种原因死亡的可能性。结果是，他们略微低估了自然死亡的概率，并严重高估了非自然死亡的概率。

卡内曼与特沃斯基总结道：“我们认为，对‘启发法’进行分析可以有效减少人们在不确定性的判断中犯错的普遍性。”

在特沃斯基和卡内曼的广泛工作之后，关于人类偏见的研究开始大量涌现。

1974

研究人员：

唐纳德·G.达顿

阿瑟·阿伦

研究领域：

情绪心理学

实验结论：

生理反应与情绪唤起有确切相关

你会因为恐惧而爱上一个人吗？

高焦虑状态下的性吸引力

你在害怕时会觉得潜在的伴侣更有吸引力吗？你能区分性唤起和纯粹的恐惧之间的差异吗？

一些证据表明，性唤起与强烈的情绪体验有关，甚至会因强烈的情绪而增加——这就是为什么人们愿意带自己的伴侣去游乐场和看恐怖电影。实际上，我们可能根本无法区分这两种不同的情绪。

卡皮拉诺吊桥实验

-

研究人员唐纳德·G.达顿和阿瑟·阿伦设计了一个巧妙的实验来探究

恐惧和性唤起之间的关系。他们找到了位于加拿大北温哥华卡皮拉诺河上的两座桥梁。一座是控制桥，控制桥很宽，固定，由雪松木建造，有高的扶手，高度为10英尺（3米）。另一座是实验桥——卡皮拉诺峡谷悬索桥。这是一座长而狭窄的吊桥，由挂在钢丝绳上的木板建造而成，与下方汹涌的洪流相距230英尺（70米）。吊桥的扶手很低，当行人经过时桥体时会摇摆不定。于是，吊桥上的大部分人都只能紧抓着扶手小心地慢慢走。

他们选取恰好独自通过桥梁，没有女性伴侣，并目测年龄在18到35岁之间的男性作为被试。

当被试走在桥上时，一名访谈人员会接近他，并邀请他参与一项心理学实验，即填写一份简短的问卷。问卷的第一页有关于年龄、性别、教育以及从前是否到过这座桥等基本问题。在第二页，他们被要求根据一个年轻女子的照片写一个简短的具有戏剧性的故事，照片上的女性伸出一只手，并用另一只手覆盖住自己的脸。

随后，研究人员给这些故事中的性内容打分：1分，即没有性意味的内容；3分，比如接吻；5分，比如有任何提到性交的内容。

蓄势待发

-

被试填写完问卷时，访谈人员会对他们表示感谢，并提出以后如果有机会可以向他们详细解释实验的经过。访谈人员会提供自己的电话号码，并告诉被试如果想要有进一步的了解，可以给自己打电话。

猜猜看，访谈人员的性别会带来怎样不同的结果？访谈人员都是学生，有男有女。大多数被访谈的人同意了加入实验，尤其当访谈人员是女性的时候。

访谈员	接受测试的人数	接受电话号码的人数	打了电话的人数	故事的“性感度”
男性—控制桥	22/42	6/22	1	0.61
男性—实验桥	23/51	7/23	2	0.80
女性—控制桥	22/33	16/22	2	1.41
女性—实验桥	23/33	18/23	9	2.47

结果表明，第一，如果访谈人员是女性，男性更倾向于参加；第二，在危险的吊桥上进行采访似乎使女性访谈人员看起来更具吸引力——男人们一定是被唤起了情绪。不仅是他们写的故事比别人的更性感，而且他们中的许多人会在后来拨打女性访谈人员的电话。

换句话说，恐惧和性唤起之间存在着某种联系，或者，再换个说法，你无法判断肾上腺素的分泌是由于性唤起还是由于纯粹的恐惧。



1975

研究人员：

威廉·R.米勒

马丁·塞利格曼

研究领域：

行为主义

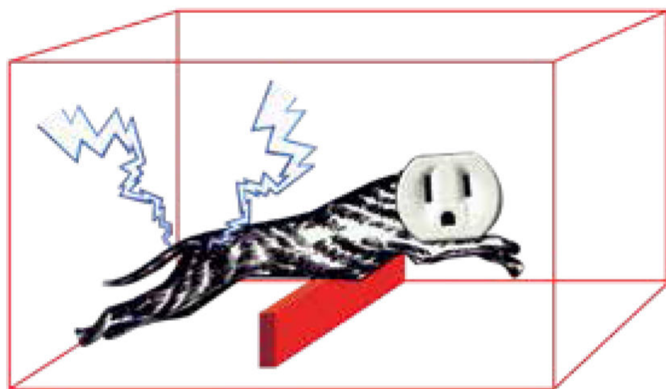
实验结论：

消极事件造成的失控感会导致临床上的抑郁症状

狗会抑郁吗？

习得性无助与抑郁症

作为一名与实验心理学家理查德·所罗门合作的研究生，马丁·塞利格曼最开始的研究对象是狗。他把一条狗放在笼子里，中间有一个把笼子一分为二、高度到狗胸口的障碍物。进入笼子一段时间后，狗会遭受一下短暂的电击，然后是第二下电击，一下接着一下。如果狗跳过障碍到达笼子的另一端，电击便会中止。随后，笼子的这一端也出现电击，而为了躲避电击，狗不得不跳回到最初的一端。



很快，狗学会了在受到电击时立刻跳过障碍。这称为操作性条件反射。

然后，塞利格曼对另一组狗施加无法躲避的间歇性电击。当他把这些狗放入分割的笼子里，它们从来没有学习过可以通过跳跃障碍躲避电击，于是它们只是站着或躺在地上等待电击停止。而从未经历过电击的第三组狗很快就学会了跳跃障碍。

习得性无助

-

塞利格曼的结论是，不可控制的电击在第二组狗中产生了“习得性无助”，即它们明白自己无论做什么都无法让电击停止，所以还麻烦什么呢？甚至当他们把障碍拿走并且把食物放在笼子另一端时，第二组狗也不过去。

塞利格曼写道：

> “当实验者去它们原本的笼子里，试图去抓‘非无助’的狗时，狗并不会随他所愿，它会大叫，跑到笼子的后面，并且抵抗实验者。与之相反的是，无助的狗是畏缩的，它们被动地趴到笼子的底部，甚至偶尔会翻过身来，摆出顺从的姿

势，它们不反抗。”

人类也是如此吗？

-

塞利格曼和米勒在人类身上发现了类似的效应。在一个实验中，他们要求人们做心算，并在同时用令人分心的噪声干扰他们。当其中的一些人发现他们可以关掉噪声时，他们的表现有所改善，即使他们经常懒得把它关掉。关键在于，他们知道自己能够关掉噪声，所以他们不再会感到无助。

实验者还对抑郁症患者进行了研究，并观察到他们有时表现出与“无助”的狗相同的行为：疲倦、失眠、预感到灾难、精神麻木等。他们提出了两个结论：1.一些抑郁症状是习得性无助的结果；2.抑郁患者认为自己是无助的。

抑郁症患者该如何看待这一点？

-

米勒和塞利格曼认为抑郁症患者在面对问题时，使用的是一种“抑郁的解释风格”——比如“问题在于无能的自己。我没有任何用处。我在任何事情上都无药可救”。因为他们相信他们是无助的，所以他们更容易感受到抑郁情绪。

他们发现，相对于精神分裂症患者或正常的医学生，医院中的抑郁症患者更容易使用这种解释风格。如果普通大学生的成绩低于自己的期望——想得A却得了一个B，或得了D而不是C——他们仅仅会有点儿失望，但抑郁的学生却会采取一种抑郁的解释风格。

种种无助

-

习得性无助也存在普遍性与个体性的区别。

假设一个孩子感染了白血病，他的父亲会尽一切可能来拯救男孩的生命。但当一切都没有什么效果时，父亲开始相信他什么也做不了，也没有任何人可以帮得上忙。他最终放弃了，表现出行为上的无助和抑郁症状。这是普遍性无助。

假设一名学生不断努力学习数学，参加额外的课程班，聘请补习老师，但都没有什么帮助，他依旧考得不好。他觉得自己很笨，于是放弃了——从此以后，任何数学问题，从估算购物账单到填写退税单，都永远成了他的噩梦。这是个体性无助。

结论

-

米勒和塞利格曼得出一个结论：那些生活在“成功人士”周围的失败者，相对于那些只能靠运气获得成功的失败者拥有更低的自尊。另外，如果一个可怜的学生没有通过考试，而除他之外的人都通过了，他的自尊会低于其他也没通过考试的人，因为如果大家都没及格，他会认为没有任何人能考得好。

1976

研究人员：

哈里·麦格克

约翰·麦克唐纳

研究领域：

感知觉

实验结论：

语音感知过程中听觉和视觉存在相互作用

你能用眼睛听吗？

唇语的重要性

有时，读口型会导致误听。当你用手机和人交流时，你只能听到声音，但当你们面对面地说话时，你在听声音的同时还可能会注意对方的嘴唇。读口型对大多数人是有帮助的，尤其对于听力受损的人，深度失聪的人的确需要依靠唇语来交流。

然而，哈里·麦格克发现了交谈过程中一个奇怪的现象，视觉实际上会妨碍听觉。他在电影中看到一名年轻女子对着镜头说话。她在说“ba…ba”，但这个声音完全与她“ga…ga”的口型同步。

你认为你会听到什么？麦格克听到的是“da”——直到他闭上眼睛，他才听到了“ba…ba”，但当他再次看着屏幕时，他又听到

了“da…da”。与他一起工作的同事也有同样的经历。

当这个过程反过来，即声音是“ga…ga”，而口型是“ba…ba”，他们听到的则是“bagba”或“gaba”。



制作录像

-

麦格克被观察到的现象激起了好奇心，并决定开展进一步的研究，他设计了一些精妙的实验。

他着手修正并归纳自己的发现。他录制了一个女人说三次ba的特写镜头，然后是ga，接下来是pa，最后是ka。每个音都是连续三次。然后，他经过仔细剪辑，制作了四段单独的录音，如表所示。

录像	1	2	3	4
声音	ba… ba	ga … ga	pa … pa	ka… ka
口型	ga … ga	ba … ba	ka…ka	pa…pa

他让103名被试观看了他制作的录像带：包括21名学龄前儿童，3或4岁；28名小学生，7或8岁；54名成年人，大多是男性。

每名被试都先独自观看录像，接着报告自己听到了什么，然后只听声音，不看口型，并再次报告自己听到了什么。

结果十分有趣。没有口型的干扰，他们的听觉是准确的：学龄前儿童的正确率为91%，小学生为97%，成年人为99%。

如果听的同时也看口型，他们便会在59%、52%和92%的时间里听到“错误的”音节。

他把这种反应定义为“融合”，即来自听觉和视觉的信息被转换成了不同于两者中任何一种的新声音，如ba和ga变成了da。当听觉和视觉产生了“修正音”，如ga和ba变成bagba——麦格克将其称为“合并音节”。

首先，该实验的结果表明，大部分人所受到的影响是相似的：98%的成年人将ba/ga合并为da，81%的成年人将pa/ka合并为ta。儿

童则更多地依赖于听觉而不是视觉，但是超过50%的孩子听到了相同的合并音节。

成年人则更多地受到视觉的影响，当他们需要依靠一种感知觉的时候，成年人会选择视觉，而儿童会选择听觉。

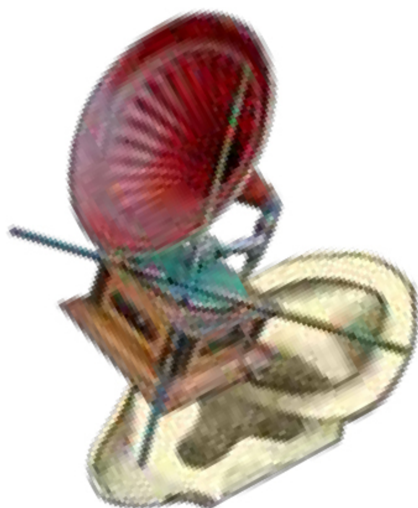
结论

-

麦格克指出，在听觉中，元音携带了前方辅音的信息，并得出了暂时性的结论：

> “如果我们假设ba的声波形具备与da的声波形相同的特征，而不是与ga相同的特征，那么上述的一组误听则可以得到暂时性的解释。在声音ba和口型ga的试次中，存在da和ga的视觉信息，和具备共同特征的ba和da的听觉信息。为了对两种状态中的共同信息做出反应，个体将得到统一的感知，即da。”

上述这些实验告诉了人们，我们——尤其是成年人——在听音时有多么依赖于视觉（但却意识不到它）。此外，这还警醒了或许经常被音轨有误的视频或影像所愚弄的大众。



1978

研究人员：

爱德华多·比夏克

研究领域：

感知觉

实验结论：

脑损伤可导致单侧视野缺损

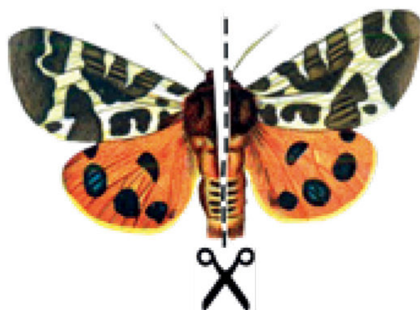
是怎样的感觉？失去一半世界

单侧视野和单侧忽略

有些人只能看到一半的世界。许多患者在中风后出现了身体的单侧瘫痪，或是无法正常地说话，但有少部分人出现了单侧视野缺损或单侧忽略，他们似乎失去了一侧的视野。

最常见的是大脑右侧损伤，患者左手边的世界似乎消失了。出现单侧忽略的男人通常在剃须时只刮脸的右侧，而女性则只化右边脸的妆。他们只吃盘子右边的食物，必须有人帮他们把盘子掉转过来他们才能把饭吃完。

当被要求画一幅画时，他们会把一切紧密地画在右边。因此，他们画的钟面只有右侧，但也许他们会把所有数字都挤在右半边，画花的时候，他们把所有花瓣都画在一侧。



有时，患者的左半边身体会撞上东西，比如门框。因为他们会忽视掉左侧身体。

奇怪之处在于，他们并没有完全失去左侧的视野。信息会输入进来，但他们的大脑无法处理它——似乎只是忽略它，或者说没有把注意力放在这上面。

要求患者读一个单词，他们可能会只读单词的右半部分，并且可能会自发地把另外一侧补全。所以，如果你让患者读PEANUT这个词，他们可能会说“NUT”或“WALNUT”。如果你摇动患者的左手，问他这是什么，他会回答“这是一只手”。但如果你问这是谁的手，他会说：“我不知道。不是我的手，那一定是你的手。”所以大脑会虚构，或者编造出一个患者认为是事实的故事。

其他实验表明，大脑右半球可以接收情绪信息，却无法解释它们。约翰·C.马歇尔和彼得·W.哈利根向病人展示了两个房子的图片，这两栋房子基本是相同的，但其中一栋房子的左边着火了，有滚滚浓烟冒出来。



病人说两栋房子是一样的，但当被问到他们愿意住哪一栋时，他们选择了没有着火的房子。这表明他们已经清楚地接收到着火房子的情绪信息，尽管这被他们的视觉系统忽略了。

比夏克用一个精妙的实验证明了忽略不仅仅发生在视觉中。他与来自意大利米兰的患者合作——米兰壮观的大教堂和教堂前的广场举世闻名。

首先，他要求患者想象自己面朝大教堂站立，并描述这个场景。

患者描述了广场右侧的所有建筑物，但没有提左边的。然后，他要求患者们想象自己背朝大教堂，果不其然，患者们描述了广场另一边所有的建筑物。因此，患者们拥有关于所有建筑物的信息，但出于某些原因，他们忽略了左半侧。

更有趣的是，他们当时并没有真的站在广场上，而是在想象，所以，对世界的单侧观察显然并不局限于视觉，而是影响了他们全部的心理表象。大概整个广场的视图在他们中风之前已经存储在了记忆中，但中风之后他们只能提取出其中的一侧。

6．意识之内：1981—

直到20世纪80年代，“意识”一词才被心理学领域承认。人们究竟要怎样研究意识？当这一话题悄然而至时，心理学家不得不开始正视“真正的难题”——思维和身体似乎是分开的，但它们却一定又是相关的，甚至可能就是“一体两面”。

尽管我们似乎感觉到身体内部有一个“我”正在通过眼睛看着世界，但我们知道事实并不是这样。我们脑中有的只是无穷无尽的神经元，它们以数十亿种方式联结来处理信息。如今，科学家们开始对这些联结的路径展开研究。

1983

研究人员：

本杰明·李贝特

柯蒂斯·A.格利森

埃尔伍德·W.莱特

丹尼斯·K.珀尔

研究领域：

感知觉

实验结论：

自由意志或许是不存在的，但我们仍要为自己的行为负责

自由意志真的自由吗？

自由意志中的认知神经科学

所有人都认为我们可以有意识地控制自己的行动，但事实真的是这样吗？在20世纪80年代，美国神经心理学家本杰明·李贝特和他的同事针对五个“右撇子”大学生进行了研究，学生们坐在躺椅上，身体微微倾斜，把右臂放在前方。

学生坐好之后，本次实验的指导语开始播放，学生们被告知用一秒或两秒的时间放松一下头部、颈部和前臂的肌肉。于是，当他们想要这样做的时候，他们就会突然快速地动一动手指或手腕，并且是自

发地这样做——“请让行为冲动以它自己的方式随时出现，不要有任何预先的计划或刻意的关注”。换句话说，当他们“想要”活动手腕的时候，就应该立即动起来，按照自己的自由意志，并重复这一过程40次。

与此同时，研究人员测量以下三个变量：

1．动作开始的时间：由贴在被试前臂上的电极记录。

2．“预备电位”：即在动作开始之前大约一秒缓慢上升的负电位。手腕肌肉会在动作之前收到大脑的指令。预备电位是对指令的提前准备，可以用贴在被试头皮上的电极测量到。

3．“决定时刻”：即“想要”执行某种自发性运动的意识出现的瞬间。但这是主观的，只有被试才知道它发生的时间——这要怎么测量？



“决定时刻”

-

如果要求被试在感受到“行为冲动”的一瞬间喊出“现在”一词，那么必然会出现延迟——反应时间会让一切动作产生延迟，如按下按钮这个动作。

所以，研究人员在被试面前放置了一个屏幕，让一个光点在圆中绕圈移动，每2.5秒钟动一下，就像钟面上的指针。屏幕上标有放射状的线以及数字1到12，就像钟面上的数字一样。光点从一个数字移动到下一个数字所需的实际时间约为43毫秒。

当被试决定动手腕时，他们会大声说出光点显示的“时间”。结果表明这一方法是高度可靠的，当被要求报告对手背进行轻微电击（按照随机间隔）的时间时，被试的回答一直很精确，并且他们表现出的微小偏差还能被用来纠正他们所报告的“决定时刻”。

预备电位

-

结果显示的时间范围十分宽泛，但平均来说，预备电位出现在肌肉实际运动前约1秒的时刻。行动的决定也出现在实际运动之前。然而，在几百次实验的每个试次中，决定都出现在预备电位之后。平均间隔约为350ms。

换句话说，大脑在被试“决定”行动以前约三分之一秒就发起了动作。

李贝特和他的同事记录了这项研究：

> “……由结果可以推断，其他相对‘自发’的、不按有意识的考虑或计划进行的自愿行为，也可能由无意识进行的脑部活动启动。当我们认为个体可以有意识地发起和控制自发行

为时，该考虑到上述推断。”

李贝特的结果表明，有意识的决定可能并不是行为的原因，我们似乎是先自发地做出某件事，然后才去决定我们打算这样做。研究人员甚至提出，人类可能根本没有自由意志。

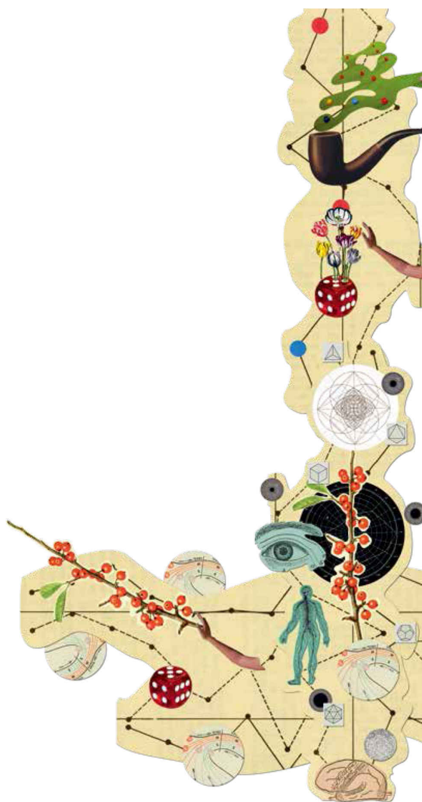
1985年，李贝特又报告了进一步的实验研究，在实验中，被试被要求在做出决定之后否决该行动。这一次，肌肉没有运动。换句话说，我们有时间行使否决权，所以我们才可以在行为发生之前制止它。

结论

-

李贝特指出：

> “……重要的是，目前的实验结果和分析并不否认‘哲学上真实的’个人责任和自由意志。虽然有意识的过程或许是由无意识的大脑活动启动的，但是控制实际行为的意识依旧是存在的。因此，实验结果并非否认了自由意志，而是探讨了自由意志是如何运作的。有意识的否决，或对具体意图下运动行为的阻止的概念，在通常情况下符合某些宗教和人道主义对伦理和个人责任的观点，人们普遍提倡对有意行为的‘自我控制’。在心理学的语境下，‘自我控制’将通过‘意识选择’来实现，或者说，‘自我控制’本身就取决于由无意识发起的最终意志是否在行为中得到实施。”



1984

研究人员：

黛安娜·C.贝里

唐纳德·E.布罗德本特

研究领域：

认知，决策

实验结论：

练习、接受培训和将思考过程说出来是最好的组合

“熟”真的能生“巧”吗？

糖厂任务

你通常可以在解决问题之后解释自己是如何做到的吗？贝里和布罗德本特想探究人们如何处理复杂思维任务。我们的表现是否可以通过练习或训练得到提高？我们可以在事后解释所使用的方法吗？

以下是一组实验的简单描述。

糖厂

-

他们建立了一个管理虚拟糖厂的计算机模型。问题看起来很简单。最初，工厂有600名工人生产6000吨糖，被试的任务是将糖产量

增加到9000吨，并且通过改变工人的数量让产量尽可能一直保持在这个数字。可是事实上，计算机运行的是虚假算法，但被试不知道这一点，所以他们不得不通过猜测和直觉来操作。



困难

-

由于计算机运行的是虚假算法，所以劳动力的产量并不固定。这意味着被试必须在实验的全程加以控制。即使他们早早就达到了9000吨的目标，再次投入同样的劳动力也总是会带来不同的结果。

每次任务中，他们“尝试”或按键的次数是固定的，产量位于8000和10000吨之间后剩下的“尝试”次数便是他们的得分。如果他们完全随机地选择劳动力数目，平均得分是3.4。如果被试得分高于此，这就意味着他们一定在实验中学会了如何控制糖的生产。

你认为他们的得分会比随机数更高吗？他们会因练习而进步吗？

被试被分为5组。第一组为A组，只有一次30次“尝试”的任务。第二组为B组，有两次30次“尝试”的任务，两次任务依次进行。第三组为C组，有两次20次“尝试”的任务，但在第一次任务结束之后，他们会得到解决问题的具体培训。第四组D组不会得到培训，但是研究人员会在第二次任务时建议他们将思考过程大声说出来，希望他们能够解释自己正在做什么。第五组E组，在第一次任务后得到培训，研究人员也会在第二次任务时鼓励他们出声思考。

	30次尝试的得分（最高）	
组	第一轮实验	第二轮实验
A	8.7	-
B	8.6	16.2

结果

-

表中为A组和B组的平均分数。

平均来说，被试的得分比随机得分（3.4分）要高。显然，他们在实践中获得了进步，因为B组在第二轮任务中的得分几乎是第一轮的两倍。所以他们一定学到了解决问题的方法。

他们是如何做到的呢？

在任务完成后，要求被试填写一份问卷，问卷中询问了他们处理问题的方法。

研究人员会按照从1分（差）至5分（好）的标准为问卷打分。A组和B组的得分只有1.7分。换句话说，他们并不能解释他们做了什么。尽管B组在执行任务时有了很大改进，但他们的问卷得分并没有明显优于A组。此外，一些根本没有完成任务的被试在调查问卷上得分为1.6，这与那些完成了任务的人几乎一样高。

被试们一定学到了什么，但他们却不能把它表达出来。许多人在实验后的访谈中说，他们基于“某种直觉”来操作，因为“感觉正确”而做出相应的反应。

C组、D组和E组的结果更加有趣。他们的任务得分较低，因为这三组的被试只有20次“尝试”而不是30次，但是他们的结果表明练习可以提高产量，因为任务2中的得分都高于任务1。然而培训似乎对C组没有效果，因为他们在任务2的得分并没有比D组好多少。

但是，培训对他们的问卷得分有着惊人的作用：C组和E组问卷得分大概是A、B或D组的两倍，这意味着他们明白自己是如何处理任务的。

出声思考本身对处理任务或作答问卷都没有太大的影响，但是当与培训相结合时，任务2的得分有了显著提高。

结论

-

1．调查问卷无法评估个人的表现。

2．口头训练或许无法令解决任务的表现有所进步。

3．即使人们会在练习中进步，但他们可能无法解释这是为什么。

有些人将直觉理解为一种神秘的力量或无法解释的能力，但上述实验表明，人们往往会在没有觉察的情况下习得技能。当感觉到哪里不对，或者做出一个没有理由的选择时，你就是在使用这种直觉。

组	20次尝试的得分		
	第一轮实验	第二轮实验	问卷得分
C（经过培训）	4.7	7.0	3.6
D（将思考过程说出来）	4.5	6.7	1.6
E（经过培训＋将思考过程说出来）	5.2	13.3	3.4

1985

研究人员：

西蒙·巴伦-科恩

艾伦·M.莱斯莉

乌塔·弗里思

研究领域：

发展心理学

实验结论：

自闭症儿童不能“看见”其他人的思维

自闭儿童眼中的世界是怎样的？

“心理”理论

自闭症是一种罕见的疾病，10000名儿童中约有4名会患有自闭症。自闭症儿童表现出许多异常，尤其是语言与非语言交流的巨大困难。这是阻碍他们适应社会环境的主要原因之一，他们无法发展社会关系。换句话说，自闭症儿童会“用对待物体的方式对待人”。

科恩和他的同事想要探究自闭症儿童能否理解他人的需要、感受或信念，这种能力被称为“心理理论（TOM：theory of mind）”。大部分儿童在三至四岁开始出现心理理论。但研究人员却发现自闭症儿童不会玩假装游戏[12]，哪怕是那些有着高智商的患儿。所以他们预

测，自闭症儿童不会有心理理论。

他们对比了20名自闭症儿童、14名唐氏综合征儿童和27名非自闭的学龄前儿童，年龄均在3.5至6岁。自闭症儿童的平均心理年龄高于唐氏组和正常组。自闭症组的平均IQ为82，唐氏组的平均IQ为64。



实验

-

每个孩子依次与两个娃娃扮演一则名叫《萨莉和安妮》的小故事。首先，他们给娃娃取名字，并询问孩子们哪个娃娃是萨莉，哪个娃娃是安妮。所有的（61个）孩子都答对了。

然后他们开始用娃娃做游戏。萨莉把玻璃弹珠放进她的篮子里，然后她走了，安妮拿起玻璃弹珠，把它藏在箱子里。接着研究人员提出了最为关键的有关错误信念的问题：“当萨莉回来时，她会去哪里找自己的玻璃弹珠？”如果孩子们指向篮子，这就代表他们能够意识到萨莉现在有一个错误的信念，于是他们便通过了错误信念问题。然而，如果他们指向箱子，那么他们没有通过这一问题。回答错误的儿

童知道玻璃弹珠被藏在箱子里，但他们无法理解萨莉不知道。

实验者重复了整个过程，但这一次他们将玻璃弹珠放到了自己的口袋里。

在每个场景之后，实验者都会提出两个问题。

“现实”问题：“玻璃弹珠到底在哪里？”

“记忆”问题：“玻璃弹珠最开始在哪里？”

所有的孩子，全部回答正确。他们知道玻璃弹珠现在在哪里，他们也记得它一开始在哪里。

当被问及“萨莉会去哪儿找自己的玻璃弹珠”时，孩子们的回答开始出现了差异。85%的正常儿童回答正确——他们指向了萨莉娃娃的篮子，86%的唐氏综合征患儿也这样做，但只有20%的自闭症儿童给出了正确回答。

作答正确的四个自闭症儿童似乎与组内的其他自闭症儿童没有什么不同，他们有同样的平均年龄和心理年龄。每个孩子都正确地回答了控制问题，所以他们都明白发生了什么，他们知道（并相信）在萨莉离开后，玻璃弹珠被放到了别的地方。

于是研究人员得出结论：

> “实验结果表明，他们（正确回答错误信念问题的儿童）一定意识到了自己的所知，即玻璃弹珠实际上在哪儿，和属于娃娃的所知是不同的。也就是说，他们根据娃娃的信念预测了娃娃的行为。
>
> 大部分自闭症儿童通过一直指向玻璃弹珠的实际位置来

回答问题。他们不只是指向一个‘错误’的位置，而是指向弹珠的实际位置……可见，自闭症儿童不明白自己所知和娃娃所知之间的差异。

我们的结果验证了自闭症儿童组无法使用心理理论的假设。我们将此解释为他们缺乏描述心理状态的能力。自闭症被试无法理解他人的信念，所以他们在预测他人的行为时处于严重的劣势。

通过实验，我们发现了一种认知缺陷。这种缺陷在很大程度上独立于一般的智力水平，并可以解释自闭症儿童之间假装游戏的缺乏，以及由限制性认知障碍而引起的社交障碍。”

另一方面，研究人员认为，四名作答正确的自闭症儿童（两个版本的故事中均作答正确）或许拥有使用心理理论的能力，能够参与假装游戏，并且在形成社会关系方面有较少的困难。

如今，萨莉-安妮测试已被广泛用于儿童心理理论及其与社会交往和同理心的关系的研究。

1988

研究人员：

伦道夫·C.伯德

研究领域：

社会心理学

实验结论：

伯德的数据在某种程度上表明祷告确有益处

祈祷可以治愈病痛吗?

对代祷的研究

你生病时希望别人为你祈祷吗？伦道夫·C.伯德认为：“尽管人们祈祷的对象在全世界各不相同，但通过祈祷寻求帮助和治疗几乎是存在于所有社会中的一个基本概念。”

1872年，弗朗西斯·高尔顿发表了关于神职人员祷告效力的研究，但他并没有得到正面的结果。

科学界一直缺乏证明祷告效用的确凿证据，于是伯德开始了他的研究。在旧金山总医院的冠心病护理部门，他询问了450名患者是否愿意在住院的同时接受他人为自己祷告，有393人同意了。

他将患者随机分成两组，192人获得了代祷，201人没有。他、患者自己以及医护人员都不知道谁在哪个组中。

代祷

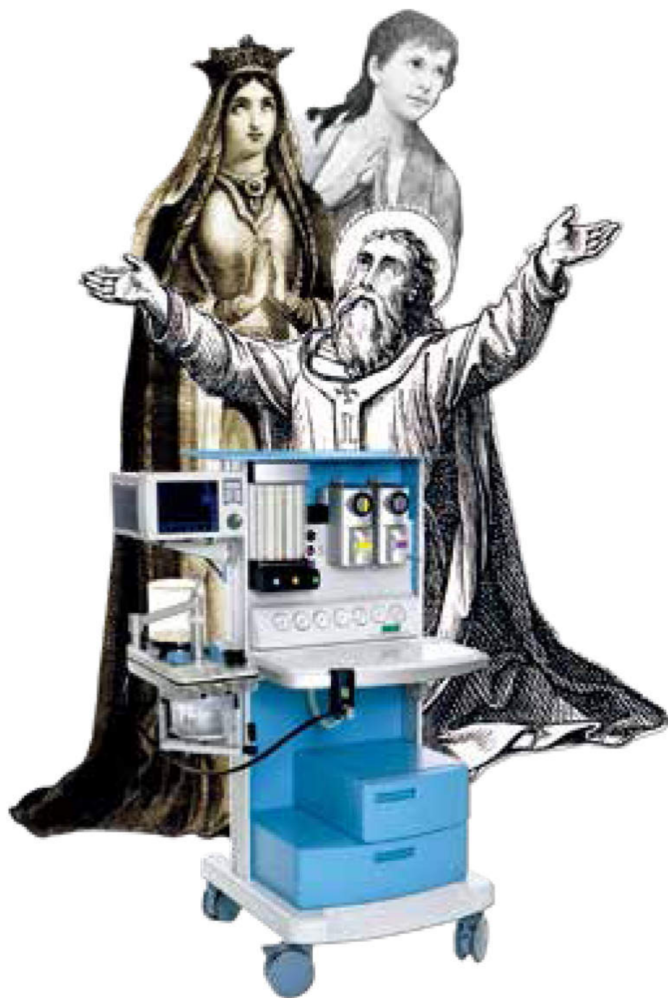
-

代祷者都是“经过洗礼的基督徒……有积极的基督教式生活，具体表现为每日虔诚地祷告并且与当地教会保持活跃的团契[13]”。接受代祷组中的每名患者配有3到7名代祷者，代祷者会被告知患者的名字、得到的诊断以及基本的情况。

祷告每天在医院外进行，一直持续到病人出院。每名代祷者被要求每天祈祷患者可以尽快康复，并预防并发症和死亡的发生。

医院记录提供了30多项与患者病情相关的不同指标，但总体来说，代祷组与对照组的基本情况在刚住进医院时并没有出现显著的差异。

住院诊治过程“……只有当患者的发病率或死亡风险以最小的幅度增加时，才会被评为好。如果出现了更高的发病率和一定的死亡风险，住院诊治过程便被评为中。如果患者面临最高的发病率和死亡风险，或者在住院期间死亡，那么住院诊治过程便被评为差”。



结果

-

在代祷组中，85%患者的住院诊治过程被评为好，而在对照组中为73%；1%的代祷组患者的住院诊治过程被评为中，对照组中为5%；14%的代祷组被评为差，对照组中为22%。

结论

伯德的结论是：

“祷告组出现较少的充血性心力衰竭，对利尿和抗生素治疗的需求较低，肺炎发作较少，心脏骤停较少，插管和通气的情况较少……

所以接受代祷组总体呈现更好的结果……基于这样的数据，我们似乎可以观察到一个效应，并且该效应看上去是有益的。”

另一方面，一些评论者对此持有怀疑态度，理由是在患者的30项不同指标中，仅有6项指标呈现了积极结果，其中一名评论者认为伯德犯了“神枪手谬误”(14)。

住院诊治过程的质量

等级	接受代祷组（192名患者）	对照组（201名患者）
好	163	147
中	2	10
差	27	44

许多后来的实验试图重复伯德的结果，但得到的积极证据很少，或基本没有。2006年，赫伯特·本森报告了庞大的包括了1802个冠状动脉旁路移植手术病例的STEP项目（对代祷的治疗效果的研究）。

患者被分为三组：A组（604人）被告知，他们可能会或可能不会得到祷告——但他们实际上都得到了代祷。B组（597人）也被告知，他们可能会或可能不会被代祷，但实际上他们没有得到祷告。C组（601人）被告知他们会得到他人的祷告。祈祷行为从他们手术的前一天开始，持续了14天。

本森发现，在一个月内，A组中52%的患者出现了主要并发症，一些死亡，同样的情况B组中占51%，C组中占59%。换言之，知道祷告存在的患者比其他人的结果更糟。这也许是因为“表现性焦虑”，他们害怕自己会辜负祈祷者，从而承受了巨大的压力。

1993

研究人员：

简·E.麦克尼尔

伊丽莎白·K.沃灵顿

研究领域：

社会心理学

实验结论：

有时候识别羊脸比认人更容易

你脸盲吗？

中风后出现的面容失认症

你能想象识别羊脸比分辨人脸更容易吗？中风之后，一些人会患上面容失认症（也称为“脸盲”），即无法识别其他人的面部。另外，还有一些在一生中一直被面容失认症所困扰的人，他们总会遇到面部识别的麻烦。

识别能力的缺失会扩散到其他方面。一名患有面容失认症的野鸟观察家不能再辨认鸟类，一名农民无法认出自己的牛，另一个人可以认出自己的牛和狗，但无法识别出人的面孔，等等。W.J.在数次中风后患上了严重的面容失认症，不再能识别人类的面孔，麦克尼尔和沃灵顿与他合作，进行了相关研究。

当他们给W.J.进行测验时，W.J.只能从12张著名的面孔中识别出2个，但这也耗费了他很大的精力。他无法判断照片中人的年龄、性别和面部表情。然而，他在辨认知名建筑物、狗、汽车和花卉的品种时拥有95%的准确率。

并且，他还声称自己可以通过辨认羊的面孔来认出他自己的羊。



认羊？

-

W.J.养了一群绵羊，羊的耳朵里有区别身份的数字标签。当研究人员向他展示16只羊的特写照片（图片中省略了耳标）时，他能够识别其中的8只，同时也清楚地知道剩下的一些，因为他曾经说过："我很了解这只羊，它是去年生了三只羊羔的那只，但我不记得它的号码了。"显然，他更擅长识别羊的脸，而不是人的。

为了避免必须记住数字的问题，研究人员安排了一个不同的识别测试。他们以三秒钟的间隔呈现8张羊脸的照片，只询问它们是否是愉快的羊。然后，他们又呈现了16张照片，是之前的8只羊再加上另外8只，按照随机的顺序排列，并在每次询问W.J.照片中的羊是否是第一轮的8只中的一只。研究人员对另外两名养羊的人和五个农民进行了同样的测试，他们说，羊看起来都长得一样，辨认它们几乎是不可能完成的任务。

但W.J.同样出色地完成这个识别绵羊的测试，虽然他在辨认人脸上表现得很糟，基本完全靠猜测（他的准确率只有50%，和碰运气得到的分数一样）。

作为进一步的测试，他们再次进行了相同的实验，但使用了W.J.不熟悉的另一品种的羊的照片。得到的结果与之前相似，虽然不像之前那么令人震撼。

研究人员又试了一次。他们出示了不熟悉的羊的6张照片，给每只取了一个看似合理的名字。然后，他们按照随机顺序呈现照片，并要求他在照片出现时回答出正确的名字。他们又用6张人脸和名字做了同样的实验。再一次，W.J.在识别人类时表现得很差，但是当辨认羊时，他的成绩远超过了对照组。

	W. J.	农民	羊主人
识别正确率（百分数）			

熟悉的羊	87	66	59
不熟悉的羊	81	69	63
人类	50	89	100

识别正确率（百分数）	W.J.	农民	羊主人
人类	23	71	78
羊	57	41	55

W. J.是在中风后买来的绵羊，因此，他在无法识别人类的面孔的同时学会了识别羊的面孔，这一事实令研究人员感到困惑。他们探讨了W.J.究竟是如何做到这一点的：

> “他的脑中或许形成了一个羊的‘原型’，这使他可以将羊的面部特征有效编码。然而，令人惊讶的是，他的能力似乎扩展到与之前的品种看起来完全不同的其他品种的羊。也许更为重要的发现是，W.J.已经完全无法克服自己的面容失认症……他似乎无法在人类身上运用所习得的辨认绵羊的技巧。”

1994

研究人员：

达里尔·J.本姆

查尔斯·汉诺顿

研究领域：

社会心理学

实验结论：

汉诺顿的测试表明，读心术或许是存在的，但他的结果还没有得到可靠的验证

超感知觉真的存在吗？

找出超能力的证据

达里尔·J.本姆和查尔斯·汉诺顿知道他们正在进行的研究是一场艰难的战斗。大多数心理科学家认为超自然现象根本不存在，而且哪怕是相信其存在的人们也无从得知它的运行机制。

超感知觉（ESP）

-

20世纪30年代，在北卡罗来纳州杜克大学，约瑟夫·邦克斯·莱因斯和他的妻子路易莎进行了对ESP的首次正式研究。他们使用了同事卡尔·齐纳设计的一副特殊的牌。

这副牌共有25张，其中每种类型5张。洗牌和切牌之后，被试必须在发牌之前猜测牌是什么。按照完全随机的概率，被试应该在每五次中猜中一次，或者达到20%。莱因斯的一些被试获得了比这高很多的分数，但是实验结果很难得到重复。1934年，莱因斯出版了一本名为《超感知觉》的书，这就是ESP（Extra-Sensory Perception）一词的来源。

“全域测试法”和“自动全域测试法”

-

达里尔·J.本姆和汉诺顿的基本实验设计为，“发送者”观看一段小短片——即“目标”——并试图把短片的内容与图像发送给“接收者”。发送者和接收者都是单独隔离的，两人之间无法有任何联络。

半小时后，一名研究人员进入接收者所在的房间，为其呈现四段可能的短片。接收者需要根据在刚才半个小时内接收到的内容与图像来猜测哪一段短片是所谓的发送者观看的“目标”。

据说，在放松和冥想时更容易出现心灵活动，于是汉诺顿发明了一种方法，他称为“全域测试法”（Ganzfeld）。接收者舒适地躺在躺椅上，耳机中播放着像波浪一样的白噪声。他们的眼睛上盖着半个乒乓球，用温暖的红光照亮。

当发送者“发送”信息时，接收者不断地谈论头脑中出现的想法和图像，接收者所说的都会被记录下来，以用于以后的分析。



初始的“全域测试法”实验受到了质疑，人们认为实验中可能存在感官泄露或作弊。为了使批评之声平息，汉诺顿重新精心设计了“自动全域测试法”（Autoganzfeld），自动程序应该可以消除任何存在的问题。他用电脑在短片库里的80段剪辑中选择出一段，并反复播放给发送者。

在实验快结束时，一名研究人员拿掉放在接收者眼睛上的乒乓球，关掉了红色的灯光和白噪声，并打开电视机。电脑按照完全随机的顺序播放选中的短片和三段额外的短片，接收者要猜测哪一个是发

送者观看的“目标”。接收者观看短片的次数不受限，也可以随时改变他们的答案。

接收者的最终回答被保存在计算机上，发送者随后进来讨论结果。直到此时，与接收者坐在一起的研究人员才知道正确答案是哪个。

结果

-

如果完全依靠碰运气，接收者的正确率应该达到四分之一，因为存在四个选项，其中之一是发送者观看的“目标”。因此，任何显著高于25%的分数都可以算作心灵感应存在的证据。

这项大型的研究共有240名被试，其中的大多数是ESP的坚定信徒。他们参加了329次测试，有106次回答正确，正确率为32%，比预期的25%高出很多。

为了探究艺术人士是否更擅长心灵感应，研究人员招募了来自茱莉亚学校的十名男学生和十名女学生——其中有八名音乐生、十名戏剧生和两名舞者。这组被试每人参加了一次测试，并平均取得了50%的超高分数。

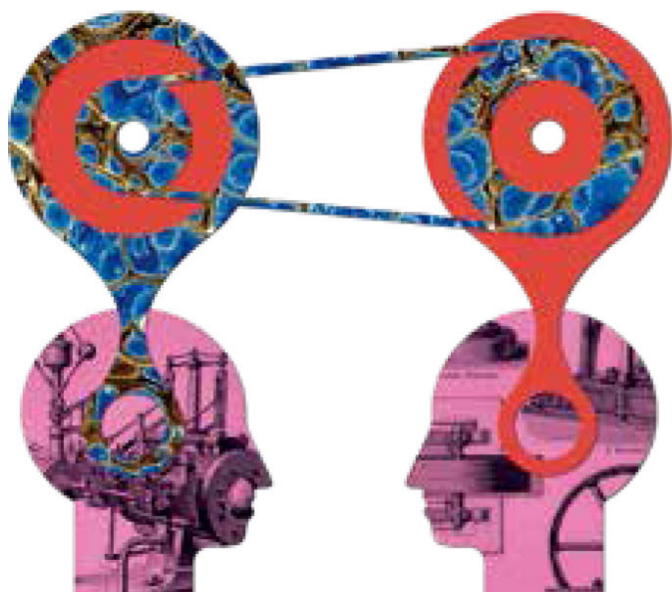
结论

-

达里尔·J.本姆和汉诺顿认为他们首次科学地证明了ESP的存在。二人发表的论文是主流心理学杂志接受出版的首篇超常论文之一。

然而，遗憾的是，在研究得到重复之前，汉诺顿的实验室由于缺乏资金被强制关闭，并且，汉诺顿本人在论文通过审核的九天之前去

世。之后，再也没有一个人能够得到如此显著的实验结果。



1995

研究人员：

丹尼尔·J.西蒙斯

丹尼尔·T.莱文

研究领域：

感知觉

实验结论：

我们有时会忽视眼前的事物

为什么你总是找不出不同之处？

奇怪的变化盲视

有时只要有一点点分心，人们就无法发现眼前场景出现了实质性的变化。“变化盲视”由英国心理学家苏珊·J.布莱克莫尔和她的同事在1995年首次发现。他们在论文中证明，当你看两张展现几乎相同的场景的图片，并且这两张图片交替出现，由一个简短的闪烁或空白间隔开，或者它们处于屏幕上的略微不同的位置时，你几乎不可能注意到从一个到另一个的实质改变。实验中使用的都是二维图片。

同年晚些时候，美国实验心理学家西蒙斯和莱文试图用短视频在三维上进行相同的实验。在其中一个视频中，一名演员走过一间空教室，坐在椅子上。镜头被切换到一个特写，随后，另外一名不同的演员完成了表演。即使两名演员很容易被分辨开，但是40个被试中只有

33%的人注意到了视频中发生的变化。

在现实世界中

-

西蒙斯和莱文决定在现实世界中测试这个发现，他们想要知道当被试积极地与研究人员互动时，变化盲视是否仍然存在。

一名研究人员在康奈尔大学校园里拿着一张地图，找一个毫无戒心的路人询问前往图书馆的路线。在研究人员和路人交谈了10或15秒后，两个扛着门板的研究人员沿着人行道走向他们，粗鲁地从他们之间穿过。



就在门板经过的时候，第一名研究人员抓住门板背面走掉，另外一个人松开手留了下来，代替他继续询问路人前往图书馆的路线。

第二名研究人员有一张相同的地图，但穿着不同的衣服。指路结束后，研究人员会说："我们正在做一项心理学实验……有关于人们对现实世界中事物的注意力。一分钟前那扇门板经过的时候，你是否注意到了什么不寻常的事情？"

如果被试回答没有注意到任何变化，研究人员会直接问他：“你有发现我和最初来向你问路的人不是一个人吗？”

实验共包含15名路人被试，有男有女，年龄从20岁到65岁不等。当被问及他们是否注意到了任何变化，大多数人的回答是认为扛着门板的人很粗鲁，其中的8名被试——超过了总数的一半——没有注意到换人了。他们只是继续交谈，并惊讶地得知，问路的人已经在中途被其他人替换了。

有趣的是，那些注意到变化的人都与实验者处于相同的年龄范围（20～30岁），而老年人不太能注意到变化。研究人员推测，这可能是因为年轻的路人在分辨与自己处于相同年龄段（内群体）的人时会花更多时间留意对方的特征。

实验2

-

为了证实这一假设，他们再次进行同样的实验，测试不知情的路人，但这一次，研究人员打扮成了建筑工人——实验地点附近有一个建筑工地——并且穿着明显不同的衣服。

他们只搭讪年轻（20～30岁）的路人，这次的12个人中只有4个人注意到了问路者的变化。

或许即使两名研究人员穿着完全不同的衣服，行人们也只是把他们看作“建筑工人”——即外群体，因此不值得留意。研究人员写道：“一名被试说，她刚刚只是看到了一名建筑工人，并没有记住他的个人特征……即使研究人员处于注意的中心，但她也没有对视觉细节进行编码，并在两个视图之间进行比较。她只是在脑中形成了一个关于类别的表征。”

西蒙斯和莱文承认上述实验是建立在洛夫特斯和巴特莱特的研究

成果之上。除此之外，他们还论证了人们通常不会注意到场景的变化，哪怕他们在当时积极参与其中，并且发生改变的事物位于场景的中心。听说了这一实验后，50名学习普通心理学的学生都坚持认为他们可以注意到改变。这就是所谓的“对变化盲视的盲视”。

1998

研究人员：

马尔塞洛·科斯坦蒂尼

帕特里克·哈格德

研究领域：

感知觉

实验结论：

人们有时会错认自己的身体部位

这只假手是你的吗？

“橡胶手幻觉”

请把你的手放在面前的桌子上，再按相同的方向并排放一只假手（比如充了气的橡胶手套）。把自己的手藏起来，再让一个人以同样的方式同时抚摸你的手和橡胶手，你可能会突然觉得那只橡胶手是你的手。匹兹堡大学的两位精神病科医生马修·伯特维尼克和乔纳森·科恩，在1998年最初发现了这种错觉。

我们都能感受和看到自己的身体，并拥有身体感知觉，即心理学家所探讨的身体图式和身体意象。身体图式是我们闭着眼睛时所感受到的身体模型，它让你可以四处走动而不会被撞倒，因为你知道自己的四肢在哪里，这便是所谓的“本体感受”。

身体意象是关于身体的有意识想法，包括从外界看去身体是怎样的。身体意象与身体图式共同构成自我意识的一致基础。

美国研究人员马尔塞洛·科斯坦蒂尼和帕特里克·哈格德想进一步探究这一概念，并试图了解我们的身体经验主要来自于内部（意向）还是外部（形象）。



实验过程

-

被试（由13名男性和13名女性组成，平均年龄28岁）坐在桌前，把手臂平放在前方，手掌朝下。被试只能看见橡胶手而非自己的手。橡胶手与人手并排摆放，距离12英寸（30厘米）远。



在计算机的控制下，1毫米的笔刷同时触碰人手和橡胶手相同的位置。因为被试可以看到并感觉到触碰，他们典型的反应便是被矛盾的视觉和触摸信号所困惑，于是，他们认为橡胶手“感觉像是我自己的手”。

一个结果是，被试认为自己看不见的手距离橡胶手比实际情况更近。这被称为“本体感受漂移”，因为被试通过本体感受来判断自己的

手所处的位置——这是身体意向的一部分。被试需要估测橡胶手和他们感觉到的自己的手之间的距离，如此一来，研究人员便可得知错觉的作用有多大。在最极端的情况下，被试感觉自己的手与橡胶手的距离比实际情况要近几英寸，这代表了“本体感受漂移”的程度。

研究人员进行了下一步探究，改变了笔触的角度和手的摆放角度。被试分为两组。首先，他们把橡胶手和真手并列排在一起，然后用笔刷从手背刷到中指。这是基线。

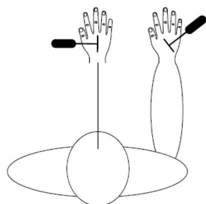
第一组中，研究人员触碰的是真手，第二组触碰橡胶手。他们假设错觉在第二组中消失得更快，因为被试更容易通过视觉观测到角度的变化，而不是本体感受。

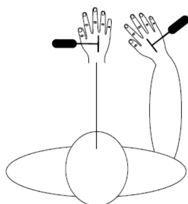
第一次操作改变了笔刷触碰手的角度。接着，研究人员旋转了手，并在同时保持触碰的相对角度不变，一直“以手为中心”。最后，他们旋转了手，但笔触不变，依旧是基线水平的角度。如果被试感觉到在手中心区域的抚摸，那么他们的感受没有匹配，但是如果被试感觉触碰位于“自我”空间以外，则达到了匹配。

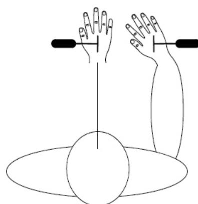
保持错觉

-

在本体感受组（旋转了真手的组），在旋转角度为10度时，错觉有一点儿消退，当旋转角度为20度和30度时，错觉的消退更显著。然而，在视觉组中（旋转橡胶手的组），仅仅10度的不匹配都完全消除了错觉。换言之，挪动被试视线所及的橡胶手，产生的效果比挪动真手更大。







上面的第一张图中，相对于被试和手而言，笔触是歪的。在第二张图中，对于被试而言，手和笔触都是歪的，但是，相对于手来说，笔触不是歪的。在第三张图中，手是歪的，并且相对于手，笔触是歪的，虽然相对于观察者来说笔触不是歪的。

鉴于第三种条件造成了橡胶手幻觉（Rubber Hand Illusion）最显著的变化，研究人员总结道，对触碰的感觉是以手为中心的。

研究人员得出结论："大脑会维持一个基于'本体感受'的内部身体表象，该表象使用的参考框架来源于被刺激的特定身体部分。"

换句话说，当你的手被触碰时，你的感觉是以手为中心的，而不是以身体为中心。

2000

研究人员：

萨拉-杰恩·布莱克莫尔

丹尼尔·沃尔珀特

克里斯·弗里思

研究领域：

神经心理学

实验结论：

挠痒与精神分裂症存在某种联系

为什么我们无法挠自己的痒痒？

寻找怕痒的答案

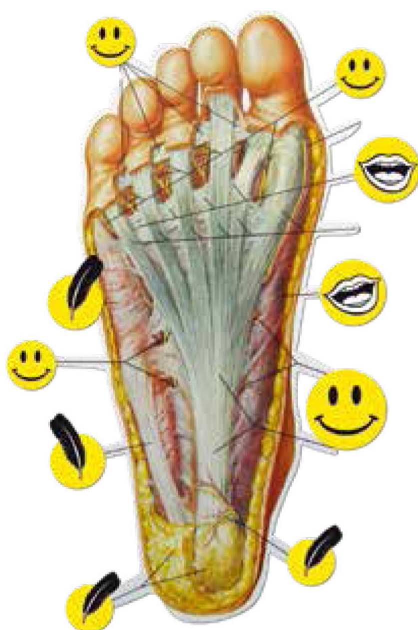
我们可以很容易地分辨出由自己的动作而引起的感觉和由其他事物引起的感觉之间的差异，比如推和被推之间的显而易见的差别。科学家认为，这是因为当我们做一件事时，大脑会发送给肌肉采取行动的信号，并在同时提供预先的提醒，这被称为“传出副本”，即代表相关行动将要发生，所以当我们在推动东西前伸出了自己的手臂，我们并不会惊讶。换而言之，如果我们没有得到预先的提醒，我们看到自己的手臂伸出去时会感到惊讶。

当你转动头部或眼睛去看东西的时候，预先提醒意味着你可以分

辨出你所看的事物究竟在哪里。

双眼睁开，尝试用手指轻轻按压在外眼角附近的眼睑上。从被按压的那只眼睛看出去，世界开始旋转。这是因为大脑没有收到眼球即将运动的提醒，所以无法处理它接收到的图像。

因此，在正常状态下，一切运动都有前瞻性计划，以便于确认按计划进行，或者在必要的情况下进行调整。前瞻计划和确认反馈可以用于减弱或阻碍由运动引起的感觉。



挠自己的痒痒

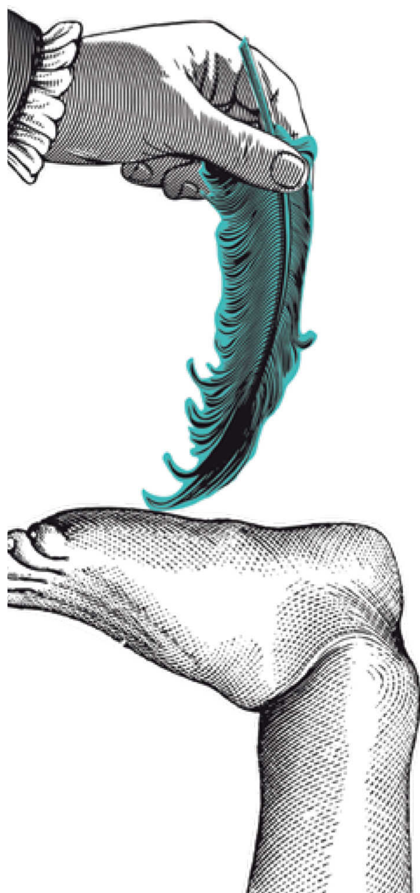
-

我们没办法挠自己的痒痒。尽管你可以感觉到它，但并不是很痒。研究人员认为，前瞻计划不仅提醒了我们在皮肤上会有轻柔的触碰，而且还告诉我们触碰会在何时何处发生，并自动地减弱了我们的感觉。

为了验证假设，研究人员要求16名被试伸出他们的右手来感受挠痒，并给由一块软泡沫造成的痒度打分。泡沫以每秒两次的速度，8字形在手掌上移动0.6英寸（1.5厘米）。泡沫连接在机器手臂上。

首先由机器臂执行所有的行动，被试都觉得很痒，并在痒度评级中打了3.5分。然后，通过使用左手旋转第二个机器臂上的旋钮来将运动传输到第一个机器臂，被试自行移动泡沫，所以被试完全控制了运动。

实验的精妙之处在于，研究人员能够通过延迟运动来引入变化，这使得运动确实由被试发起，但会有一秒钟的延迟，或者，研究人员可以改变运动的方向，所以当被试想按照从北向南移动泡沫时，泡沫的移动路径按顺时针偏移，即从东北走到西南，再从东走到西。



结果

-

被试说，与被机器手臂挠痒相比，（通过机器手臂）挠自己的痒痒并没有太大感觉（痒度约2.1分），但是，当自我挠痒的动作被延迟或扭曲时，感觉变得越来越强。当动作延迟了300毫秒（近三分之一秒），或从南北向东西方向扭转90度时，造成的痒度几乎与机器手臂一样强。以上结果支持了如下假设，即当你试图给自己挠痒时，感觉会被自发运动的前瞻性提醒削弱。在动作没有任何延迟或扭曲的情况下，痒度会减少近50%，但如果延迟或扭曲越大，前瞻性提醒就越

不准确，你就会觉得越来越痒。

与精神分裂症的联系

-

这种对于动作的前瞻性提醒和确认的缺失可能会引发精神分裂症。精神分裂症的一个常见症状便是幻听。这可能是由内部生成的缺少了前瞻提醒的语音或思想导致的。另一个常见的症状被称为“被动行为”。例如，精神分裂症患者可能会感觉到他们自己的一些行为被其他人控制：“我的手拿起了笔，但我无法控制它们。它们所做的事与我无关。”同样，如果缺少了前瞻性提醒，便会发生上述情况。

挠痒和精神分裂症之间真的有联系吗？为了弄清这一点，研究人员对精神分裂症、双相情感障碍和抑郁症患者进行了挠痒测试，并将其分为两组。A组的15名患者均有听幻觉（听觉障碍）或被动行为。B组23名患者均无这些症状。C组为15名健康人。

每个人都伸出自己的右手，被研究人员或自己的另一只手挠痒。B组和C组的所有人都说，当挠自己的痒时，感觉不那么强烈，不是很痒也不想笑。然而，A组患者说，被自己挠痒与被研究人员挠痒感觉一样。

这表明，幻听和被动行为可能与患者缺乏对运动的重要的前瞻提醒有关。

2001

研究人员：

维莱亚努尔·S.拉马钱德兰

爱德华·M.哈伯德

研究领域：

感知觉

实验结论：

一些人的感官体验是互通的

你能品尝出数字7吗？

神奇的通感

一小部分人，一千人中或许有一个，会经历奇特的感官混合体验。他们能够像听到独特的音调那样听到数字，品尝字母，并且看见周一到周日的颜色。

这是一个真实发生的现象，还是只是想象？

弗朗西斯·高尔顿最初在1880年描述了这一现象，但是一个多世纪以来，科学家们出于多种原因拒绝承认这个概念：

1．“通感者”是疯子。这一现象由亢奋的幻觉所引发。

2．他们只是回想起了童年记忆，比如看到书上的彩色数字，或玩彩色的冰箱磁铁。

3．当时他们正处于模糊、主题游离的谈话中，或只是使用了隐喻的修辞手法，就像我们在一些时候会说“苦瑟的寒冷”或“尖锐的奶酪”。

4．他们是沉迷于毒品的“迷幻药瘾君子”或“酸迷”[(15)]。这一假设并不荒谬，因为迷幻药使用者经常在药物起效时，以及药效过去很久之后报告自己出现了通感。

拉马钱德兰和哈伯德认真地思考了这些说法，并决定对其进行研究。他们设计了精巧的实验来探究通感是否仅取决于视觉系统，而非想象力或记忆。以下是其中的两个实验。

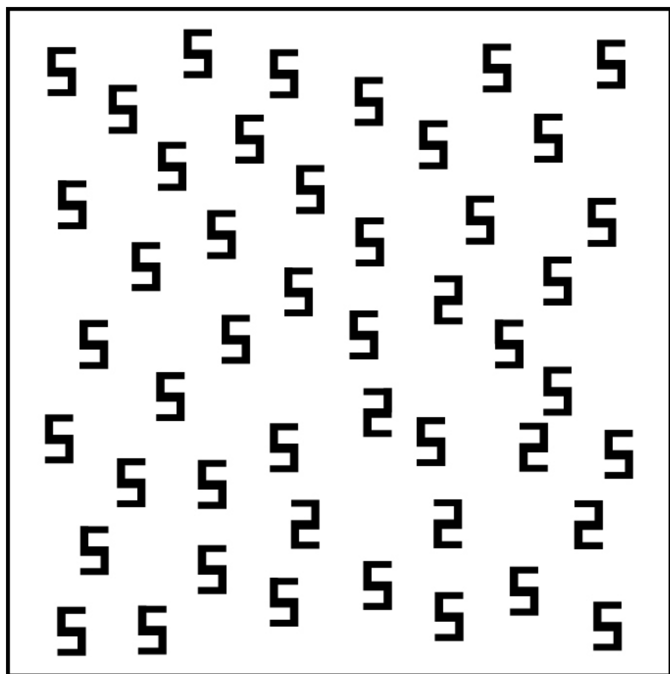
通感者是如何看的

-

他们给被试们展示了排成正方形的数字2和5，如右图所示。你能在图里找到一个由2组成的三角形吗？

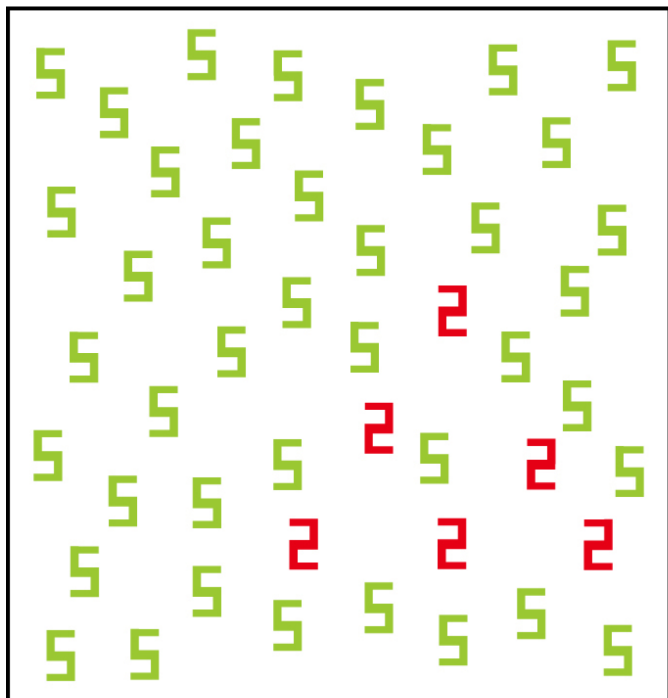
如果你不是一个通感者，这可能需要花费你几秒钟的时间，但如果对于你来说，2和5是不同的颜色（如下一页所示），那么三角形应该会立刻跳出来。这正是通感者所看到的。对于这种事，他们无法伪装。

通感者说，用“错误”颜色打印出来的字母或数字是丑陋的。“他们经常报告一些古怪或奇异的颜色，他们只有在这些颜色与数字相关联的时候看到它们，而不能在现实世界中看到。我们甚至发现，一名色盲的被试只有在看到数字的时候才能看见相应的颜色”。



研究人员记录道，在人类和猴子的大脑中，负责处理颜色的区域被称为梭状回，紧邻处理视觉字母和数字的区域。通感最常见的形式是看到彩色的字母和数字。因此，他们提出假设，即通感是由这两个脑区的“串线”所引起的。

他们进一步提出，由于通感是家族性的，“单个基因突变导致了不同脑区之间的联结过密，或造成了联结的缺陷。因此，每次代表数字的神经元被激活时，可能存在对应的颜色神经元被激活”。



自上而下的影响

-

拉马钱德兰和哈伯德给通感者展示了罗马数字IV。当I和V看起来像字母时，通感者看见了对应字母的颜色，而非预期的数字四的颜色。

这些现象暗示了通感可以被自上而下[16]影响调节，显然，在颜色出现之前，大脑内部发生了一些“处理过程”。

结论

-

在一份长篇理论性论文的结尾，拉马钱德兰和哈伯德写道：“尽

管通感已经出现了100多年，但人们依旧认为它是某种灵异现象。它被当作奇人异事看待……终于，我们的心理物理学实验首次证明了通感是一个真正的感觉现象。”

他们推测，对通感的研究可能有助于我们了解隐喻和艺术创造的神经学基础：

> “如果经常使用多种方式进行表达，那么引发梭状交叉的突变可能会导致更广泛的脑区交叉。（这便可以）解释为何通感多出现于艺术家、诗人和小说家之中（他们的脑区可能存在更多的交叉，这赋予了他们更多使用隐喻的潜能）。”

2007

研究人员：

锡格纳·伦根哈格

泰杰·塔迪

托马斯·梅辛革

奥拉夫·布兰克

研究领域：

感知觉

实验结论：

不存在证明“出体体验”的确凿证据

如何能神游太虚之境？

灵魂出壳背后的科学原理

显然，每十人中就有一人至少有过一次“出体体验”（OBE：Out of Body Experiences）。在典型的“出体体验”中，人们感觉到他们已经离开自己的肉身并且可以从身体外部看到世界——通常是从靠近天花板的位置向下看。“出体体验”可以引发富有戏剧性的濒死体验，例如，有过心脏病发作经历的患者说，他们曾看见过医护人员试图复苏自己的场景。

有些人害怕自己无法重新回到躯体中，然而事实上，维持“出体

体验”十分困难，因为它通常只持续几秒钟或几分钟。还有一些人享受“出体体验”，于是，他们尝试诱发它的出现，例如徘徊停留在睡着之前的瞌睡状态，或通过服用药物，如可以诱发“出体体验”的氯胺酮等。

据称，托马斯·爱迪生在发明期间遇到困难时，会故意进入这种催眠状态。他会手拿小桶坐在椅子上，同时把一枚硬币放在自己的头顶。当他因瞌睡而点头时，硬币便会落入桶里，在他的肉体睡着的情况下唤醒他的精神。“出体体验”的先驱，西尔万·马尔登，曾在竖直举起前臂的状态下入睡，企图在前臂落下时他可以进入“出体体验”。

心理学现象还是超自然现象？

-

那么问题来了，当“出体体验”发生时，是否有什么东西真的离开了身体？

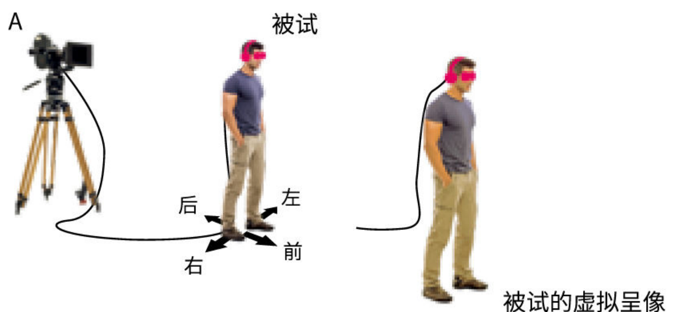
许多文化中都有关于灵魂或精神从身体分离，甚至在肉身死后永生的说法。比如灵魂投射理论，根据这个学说，我们可能有“细微身”，细微身中包括星光体，它可以离开物理概念上的家，投射到星芒层。然而，没有可靠的证据证明星光体或星芒层的存在。许多有过“出体体验”的人声称自己能够在远处看到它们，但仍没有可靠的支持证据。

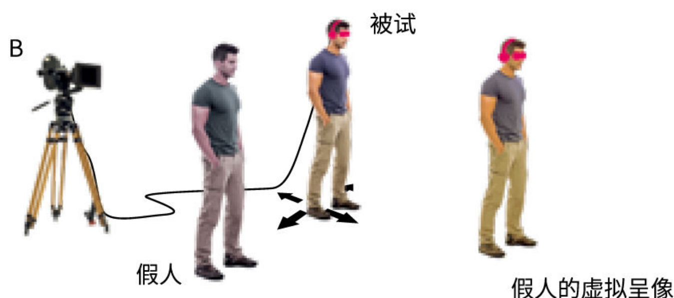
2002年，一名瑞士神经外科医生发现大脑中有一个可诱发“出体体验”的区域，于是大量有关“出体体验”的科学研究骤然爆发。一些涉及了脑科学，一些运用了虚拟现实，例如锡格纳·伦根哈格和她在苏黎世的同事所做的实验。他们试图利用“橡胶手错觉”来人为诱发“出体体验”。他们邀请被试进入了一个虚拟现实的世界。

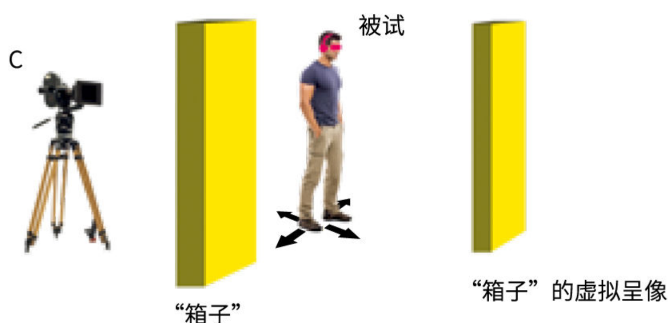
实验A

被试佩戴着头戴式显示器（HMD），站在房间的中间。摄像机安装在后面2米高的三脚架上，并将被试背后的图像传送到HMD中。于是，被试便会在面前2米处看到自己背后的三维图像。然后，由一名研究人员抚摸被试背部一分钟，于是，被试感觉自己的背部被抚摸，并同时看到事情的发生，研究人员诱使被试相信他们看到了自己站在2米以外的样子。当虚拟抚摸与实际动作不同步时，效果大大减弱了。

在抚摸结束之后，被试被立刻蒙上眼睛，并被要求回到原来的位置。正如预测的那样，被试们向前移动——即朝向虚拟身体的位置。如果抚摸是同步的，这种“本体感受漂移”平均可以达到9.5英寸（24厘米）。但如果抚摸没有同步，效果只能达到一半。







实验B与实验C

-

随后，研究人员将一个假人放在摄像机的前面，距被试2米处。然后他们抚摸被试和假人。因此，被试会看到，在他们面前2米处，一个假人与自己同时被抚摸着背部。只要抚摸是完全同步的，被试就会觉得他们看的是自己，就像他们之前在实验A中一直看着自己身体的图像一样。此外，当被蒙住眼睛时，被试向前走，并表现了更多一

些的本体感受漂移。

然而，当假体被一个盒子代替时，被试不再相信他们看的是自己的身体，并且几乎没有表现出任何本体感受漂移。

结论

-

研究人员写道："处于身体外的虚假的自身定位表明，自我身体意识和自我都能够从人物理意义上的躯体中分离。"

另一方面，他们承认，被试没有感觉到灵魂脱离肉体，并保留自己的原始视角（比如被试并没有感觉到从天花板上俯视自己），所以说，实验只诱发了典型"出体体验"的一些特点。

索引

Ainsworth, Mary D. Salter玛丽·D.索尔特·爱因斯沃斯

Aristotle亚里士多德

Aron, Arthur阿瑟·阿伦

Asch, Solomon E.所罗门·E.阿希

-

Bandura, Albert阿尔伯特·班杜拉

Barger, Albert（“Little Albert”）艾伯特·巴格（“小艾伯特”）

Baron-Cohen, Simon西蒙·巴伦-科恩

Bartlett, Frederic弗雷德里克·巴特莱特

Beatty, J. J.贝蒂

Bell, Silvia M.西尔维亚·M.贝尔

Bemm, Daryl J.达里尔·J.本姆

Benson, Herbert赫伯特·本森

Bergman, Moe莫·伯格曼

Berry, Diane C.黛安娜·C.贝里

Bisiach, Edoardo爱德华多·比夏克

Blackmore, Susan J.苏珊·J.布莱克莫尔

Blakemore, Sarah-Jayne萨拉-杰恩·布莱克莫尔

Blanke, Olaf奥拉夫·布兰克

Botvinick, Matthew马修·伯特维尼克

Broadbent, Donald E.唐纳德·E.布罗德本特

Brotzman, Eveline伊芙琳·布罗茨曼

Byrd, Randolph C.伦道夫·C.伯德

Clever Hans（horse）聪明的汉斯（马）

Cohen, Jonathan乔纳森·科恩

Costantini, Marcello马尔塞洛·科斯坦蒂尼

-

Dalrymple, Sarah萨拉·达尔林普

Darley, John约翰·达利

Darwin, Charles查尔斯·达尔文

Descartes, René勒内·笛卡儿

Dickson, William J.威廉·J.迪克森

Dutton, Donald G.唐纳德·G.达顿

-

Edison, Thomas Alva托马斯·阿尔瓦·爱迪生

-

Felipe, Nancy J.南希·J.费利佩

Festinger, Leon利昂·费斯廷格

Fowler, E.P. E.P.福勒

Frith, Chris克里斯·弗里思

Frith, Uta乌塔·弗里思

Galton, Francis弗朗西斯·高尔顿

Gazzaniga, Michael S.迈克尔·S.加扎尼加

Genovese, Kitty基蒂·吉诺维斯

Gleason, Curtis A.柯蒂斯·A.格利森

Graves, Nancy南希·格雷夫斯

Greene, David大卫·格瑞尼

Gregory, Richard L.理查德·L.格里高利

-

Haggard, Patrick帕特里克·哈格德

Halligan, Peter W.彼得·W.哈利根

Harlow, Harry F.哈里·F.哈洛

Harvey, O.J. O.J.哈维

Heller, Morris F.莫里斯·F.赫勒

Hess, Eckhard H.埃克哈特·H.赫斯

Hofing, Charles K.查尔斯·K.霍夫林

Honorton, Charles查尔斯·汉诺顿

Hood, William R.威廉·R.胡德

Hubbard, Edward M.爱德华·M.哈伯德

Hughes, Martin马丁·休斯

-

Jacobson, Cardell卡德尔·雅各布森

Jacobson, Lenore莉诺·雅各布森

James, William威廉·詹姆斯

Kahneman, Daniel丹尼尔·卡内曼

Keech, Marian玛丽安·科琪

-

Latané, Bibb比布·拉塔内

Layman Zajac, Theresa特丽萨·莱曼·扎伊克

Lenggenhager, Bigna锡格纳·伦根哈格

Lepper, Mark R.马克·R.列波尔

Leslie, Alan M.艾伦·M.莱斯莉

Levin, Daniel T.丹尼尔·T.莱文

Lewin, Kurt库尔特·勒温

Libet, Benjamin本杰明·李贝特

Lippitt, Ronald罗纳德·莱皮特

Loftus, Elizabeth F.伊丽莎白·F.洛夫特斯

-

MacDonald, John约翰·麦克唐纳

MacKie, Diane戴安·麦凯

Marshall, John C.约翰·C.马歇尔

McBride, Glen格伦·麦克布赖德

McGurk, Harry哈里·麦格克

McNeil, Jane E.简·E.麦克尼尔

Metzinger, Thomas托马斯·梅辛革

Milgram, Stanley斯坦利·米尔格拉姆

Miller, William R.威廉·R.米勒

Minsky, Marvin马文·明斯基

Muldoon, Sylvan西尔万·马尔登

-

Neisser, Ulric Gustav乌瑞克·古斯塔夫·奈瑟尔

Nisbett, Richard E.理查德·E.尼斯贝特

-

Pavlov, Ivan伊万·巴甫洛夫

Pearl, Dennis K.丹尼斯·K.珀尔

Pennock, George乔治·彭诺克

Perky, Mary Cheves West玛丽·切夫斯·维斯特·派基

Piaget, Jean让·皮亚杰

Pierce, Chester M.切斯特·M.皮尔斯

Plato柏拉图

Pygmalion（Greek legend）皮格马利翁（希腊神话）

-

Ramachandran, Vilayanur S.（“Rama”）维莱亚努尔·S.拉马钱德兰

Rank, Steven史蒂文·兰克

Rayner, Rosalie罗莎莉·雷纳

Rhine, Joseph B. & Louisa E.约瑟夫·邦克斯·莱因斯 & 路易莎E.

Riecken, Henry“Hank,”亨利·里肯“汉克”

Roethlisberger, Fritz弗里茨·罗特利斯伯格

Rosenhan, D. L.大卫·L.罗森汉恩

Rosenthal, Robert罗伯特·罗森塔尔

Ross, D.D.罗斯

Ross, S. A. S.A.罗斯

-

Schachter, Stanley斯坦利·斯坎特

Seekers, The（cult）追寻者（狂热信徒）

Seligman, Martin马丁·塞利格曼

Shapiro, Diana黛安娜·夏皮罗

Sherif, Carolyn W.卡罗琳·W.谢里夫

Sherif, Muzafer穆扎费尔·谢里夫

Simons, Daniel J.丹尼尔·J.西蒙斯

Skinner, Burrhus Frederic伯尔赫斯·弗雷德里克·斯金纳

Smith, Eliot艾略特·史密斯

Snow, C. P.查尔斯·珀西·斯诺

Sommer, Robert罗伯特·索默

Spence, Kenneth W.肯尼思·W.斯宾塞

Sperling, George乔治·斯珀林

Sperry, Roger W.罗杰·W.斯佩里

St. Claire, Lindsay林赛·圣克莱尔

Stratton, George乔治·斯特拉顿

-

Tadi, Tej泰杰·塔迪

Thorndike, Edward爱德华·桑代克

Tolman, Edward爱德华·托尔曼

Tversky, Amos阿莫斯·特沃斯基

-

Wallace, J. G.J.G.华莱士

Warrington, Elizabeth K.伊丽莎白·K.沃灵顿

Wason, Peter彼得·沃森

Watson, John B.约翰·B.华生

White, B. Jack B.杰克·怀特

White, Ralph K.拉尔夫·K.怀特

Wolpert, Daniel丹尼尔·沃尔珀特

Wright, Elwood W.埃尔伍德·W.莱特

Wundt, Wilhelm威廉·冯特

-

Zeigarnik, Bluma布尔玛·蔡格尼克

Zener, Karl卡尔·齐纳

Zimbardo, Philip菲利普·津巴多

Zimmermann, R. R. R.R.齐默尔曼

词汇表

连锁（Chaining）——强化个体一系列的反应以培养复杂的行为模式。

变化盲视（Change blindness）——指场景中的变化被忽视的现象。

认知失调（Cognitive dissonance）——同时持有两个相互矛盾的信念，或者遇到与现有的信念相违背的信息而引发的精神压力。

认知心理学（Cognitive psychology）——对心理过程的研究，如：注意力、语言应用、记忆、知觉、创造力和问题解决等。

胼胝体（Corpus callosum）——连接左右脑并在其间传输信息的横行神经纤维束。

脑电图（EEG）——从头皮上记录大脑的电活动。

外在奖励（Extrinsic reward）——个体在完成任务后预期之内的奖励，不会引起更强的满足感。

内群体（Ingroup）——拥有共同利益的一小群人。

格式塔（Gestalt）——有组织的整体大于各部分的总和。启发法（Heuristic）——解决问题的捷径，可能导致信息忽视，并且可能无法给出正确或最佳的答案。

内在奖励（Intrinsic reward）——任务圆满完成后的奖励，能够激发成就感。

肌肉运动知觉（Kinesthesis）——对四肢和躯体运动的觉察能力。

操作性条件反射（Operant conditioning）——通过强化和惩罚来习得特定的行为。

外群体（Outgroup）——你不属于其中的群体。

本体感受（Proprioception）——对身体的各部分的状态的感觉。

本体感受漂移（Proprioceptive drift）——身体或者身体的某部分被移动或错位的感觉。

反射（Refex action）——对刺激的本能反应。

扫视（Saccade）——眼睛在定点之间简短而快速地移动。

图式（Schema）——想法、行为或经验的模式，用来组织不同类别的信息以及信息之间的关系。

心理理论（Theory Of Mind：TOM）——理解他人会持有与自己不同的信念的能力。

致谢

决定将哪些实验收入书中不是件易事，但是我有幸得到了六位心理学家的帮助，其中包括我的妻子苏·布莱克摩尔，还有各位学者、律师和邮递员。

接下来的事情就有趣多了。对于每个案例，我几乎都找到了初始论文，并阅读了它们。我尝试用简单的语言来描述每个实验，剔除不必要的“行话”。一些科学家用轻松愉快的风格写作，而另外一些的语言则晦涩难懂。在书中，我有意识地规避了技术性的统计学——我会指出研究人员发现了显著的结果，这意味着它的发生不可能只是出于偶然。

此外，“创造力”在这个领域中所扮演的重要角色给我带来了极大的震撼。一名优秀的科学家必须精力集中——就像达尔文研究蚯蚓那样。但除此之外，智慧和想象力也是必不可少的。

举几个现代的例子，西蒙·巴伦-科恩的萨莉-安妮实验很简单——它不需要昂贵的设备或复杂的程序，却生动形象地揭示了儿童的“心理理论”。同样，萨拉-杰恩·布莱克莫尔对挠痒的研究并不复杂，却找到了引发精神分裂症的一大可能因素。

在写作中，我学习了许多关于实验心理学以及人性的知识。我的创作体验很愉快，也希望你可以享受阅读的过程。

(1) 勒内·笛卡儿（René Descartes，1596年3月31日 - 1650年2月11日），法国著名哲学家、物理学家、数学家、神学家，对现代数学的发展做出了重要的贡献，二元论的代表，曾有名言“我思故我在”（或翻译为“思考是唯一确定的存在”）。

(2) 威廉·冯特（Wilhelm Wundt，1832年8月16日 - 1920年8月31日），德国生理学家、心理学家、哲学家、实验心理学之父。

(3) 约翰·B.华生（英语：John B. Watson，1878年1月9日 - 1958年9月25日），美国心理学家，通过动物行为研究而创立了心理学行为主义学派，强调心理学是以客观的态度去研究外在可观察的行为。

(4) 伯尔赫斯·弗雷德里克·斯金纳（Burrhus Frederic Skinner，1904年3月20日 - 1990年8月18日），美国心理学家、行为学家、作家、发明家、社会学者及新行为主义的主要代表。

(5) 老虎机（one-arm bandit）是一种用零钱赌博的机器，因为使用印有老虎图案的筹码而得名。老虎机有三个玻璃框，里面有不同的图案，投币之后拉下拉杆，就会开始转，如果出现特定的图形（比如三个相同）就会吐钱出来，出现相同图形越多奖金则越高。

(6) 万能工匠玩具（Tinkertoy），一种可以自主拼接的积木益智玩具。

(7) 查尔斯·珀西·斯诺（Charles Percy Snow，1905年10月15日——1980年7月1日），英国科学家、小说家。

(8) 丹尼尔·卡尼曼（Daniel Kahneman，1934年3月5日 - ），普林斯顿大学教授，2002年诺贝尔经济学奖获得者。

(9) 位于直布罗陀境内的巨型石灰岩，海格力斯之柱之一，高达426米，在古代被认为是世界的尽头。

(10) 两个人物均出自《变身怪医》，故事中，杰基尔博士为了探索人性善恶，发明了一种药物，吃下去就会变成另一种人格，即海德先生，杰基尔博士把自己所有的恶念全部赋予了残暴的海德。

(11) 弗朗西斯·高尔顿（Francis Galton，1822年2月16日—1911年1月17日），英国科学家和探险家。研究领域涉及人类学、地理、数学、力学、气象学、心理学、统计学等方面，是查尔斯·达尔文的表弟。

(12) 假装游戏是一种常见的儿童游戏形式，通常包括角色扮演、对象替换和非标准行为，如过家家。儿童必须拥有将现实与幻想区分开的能力才能

进行假装游戏。

(13) 团契，即伙伴关系，源自《圣经》中“相交”一词，意思为相互交往和建立关系，是指上帝与人之间的相交和基督徒之间相交的亲密关系。广义的团契可指教会和其他形式的基督徒聚会。

(14) 在大量的数据/证据中挑选对自己观点有利的，而不使用或忽略对自己不利的数据/证据，就像先开枪，再在子弹击中的地方画上靶心，假装自己是神枪手。

(15) 酸迷（acid junkies），即沉迷于迷幻豪斯摇滚乐（acid house，一种舞曲形式）的人，其迷幻的音乐效果与当时的俱乐部药物文化很好地吻合，后传入了英国，在20世纪90年代短暂流行，后被锐舞音乐（rave music）取代。

(16) 即自上而下加工，是人在知觉过程中对信息加工的一种方式，指知觉者习得的经验、期望等引导着知觉者在知觉过程中的信息选择、整合和表征的建构。



未读 Club

为读者提供有温度、有质量、有趣味的
泛阅读服务



专属社群 独家福利
精品共读 活动特权

手机扫码
加入未读 Club 会员计划



未讀 A DR
薛定谔的猫
SCHRÖDINGER'S CAT
Groundbreaking Experiments in Science
改变物理学的
50个实验
「未读·探索家」·科学的转折书系·
［英］亚当·哈特-戴维斯——著
Adam Hart-Davis
阳曦——译
北京联合出版公司
Beijing United Publishing Co.,Ltd.

版权信息

薛定谔的猫

Schrodinger's Cat

作者：[美] 亚当·哈特-戴维斯 (Adam Hart-Davis)

译者：阳曦

出品方：未读·探索家

出版社：北京联合出版公司

Copyright © Elwin S treet Limited 2015

14 Clerkenwell Green, London EC1R 0DP, United Kingdom

Interior design and illus trations: Jason Anscomb, Rawshock design
Photo credits: Shutterstock.com,
Simplified Chinese edition copyright: 2017 United Sky (Beijing) New Media Co., Ltd.

All rights reserved.

目录

引言
1．早期实验：公元前430—1307
约公元前430　空气算是“物质”吗？——恩培多克勒
约公元前240　浴盆里的水为什么会溢出来？——阿基米德
约公元前230　如何测量地球？——埃拉托斯特尼
1021　光是怎样传播的？——海什木
1307　彩虹的颜色从哪儿来？——弗莱贝格的狄奥多里克
2．启蒙时代：1308—1760
1581　磁北极在哪里？——诺曼
1587　大球和小球：谁坠落的速度更快？——伽利略
1648　山顶上的空气更稀薄吗？——帕斯卡
1660　轮胎为什么要充气？——波义耳
1672　“白色”是一种颜色吗？——牛顿
1676　光速是有限的吗？——罗默
1687　“苹果砸头”的故事是真的吗？——牛顿
1760　冰是……热的？——布莱克
3．更广阔的领域：1761—1850
1774　你能称出这个世界的质量吗？——马斯基林
1798　你能（不借助山峰）称出这个世界的质量吗？——卡文迪许
1799　电池是如何发明的？——伏特
1803　光会互相干涉吗？——杨
1820　磁能产生电吗？——奥斯特和法拉第
1842　声音能拉伸吗？——多普勒
1843　让水变热需要多少能量？——焦耳
1850　光在水里会变快吗？——斐索与傅科

4．光、射线和原子：1851—1914
1887　什么是以太？——迈克尔逊与莫立
1895　X射线是怎样被发现的？——伦琴和贝克勒尔
1897　原子里面有什么？——汤姆森
1898　镭是怎样被发现的？——居里与居里夫人
1899　能量能在空间中传播吗？——特斯拉
1905　光速是恒定的吗？——爱因斯坦
1908—1913　世界为何大部分是空的？——卢瑟福等人
1911　金属在绝对零度下会表现出什么特性？——昂内斯
1911　把头探进云里就能获得诺贝尔奖？——威尔逊
1913　如何测量粒子携带的电荷？——密立根与弗莱彻
1914　量子力学比我们想象的还要古怪吗？——弗兰克与赫兹
5．物质深处：1915—1939
1915　引力与加速度有关吗？——爱因斯坦
1919　你能把铅变成金子吗？——卢瑟福
1919　爱因斯坦的理论能被证实吗？——爱丁顿等人
1922　粒子会旋转吗？——施特恩与格拉赫
1923—1927　粒子会波动吗？——戴维森与革末
1927　一切都是不确定的？——海森堡
1927—1929　宇宙为什么会膨胀？——弗里德曼
1932　反物质真的存在吗？——安德森
1933　引力如何构建银河系？——兹威基
1935　薛定谔的猫是死还是活？——薛定谔
1939　怎样利用核物理知识造出原子弹？——西拉德与费米
6．跨越宇宙：1940—2009
1956　一颗恒星诞生了？——塔姆等人
1965　大爆炸留下了余韵吗？——彭齐亚斯与威尔逊
1967　小绿人真的存在吗？——贝尔
1998　宇宙正在加速膨胀吗？——珀尔马特
1999　我们为什么会在这里？——里斯等人

2007　我们是宇宙中唯一的智慧生物吗？——波勒等人
2009　我们能找到希格斯玻色子吗？——希格斯等人
索引
词汇表
致谢
返回总目录

引言



物理学拥有漫长的历史，事实上，它可能是最古老的科学。人类总是好奇地想弄清事物运行的规律，于是有的人不辞辛劳，开始努力探索大自然的秘密。在那遥远的过去，一定曾有无数原始人坐在夜幕下，仰望头顶璀璨的星月，猜测它们运行的规律。每种文化都有独特的创世神话和无数有关天空的传说，但物理学却另辟蹊径，试图运用逻辑推理和实验揭开世界的真相。

天文学总是走在科学的最前沿，你可以用裸眼观察星空，列出星星的名字，为它们编制星图，记录行星神秘的运行轨迹，还有偶尔出没的流星、彗星和超新星。1600年左右，望远镜的出现让天文学迈上了新的台阶，但天文学家不做实验，所以这本书里很少提到他们的名字。

从恩培多克勒的漏壶实验到阿基米德的浴盆顿悟，中间隔了差不多两百年。在这段时间里，人类的计算能力和理解能力都有了巨大的进步。希腊文明衰落后，科学曾一度裹足不前，直到伊斯兰黄金时代的曙光初现，众多阿拉伯科学家、工程师和炼金术士为科学揭开了新的篇章。不过随之而来的是又一次的蛰伏期，直到1543年，哥白尼提

出石破天惊的日心说，67年后，观察到木星卫星的伽利略义无反顾地加入了拥护他的阵营。

伽利略做了一系列突破性的实验，在他之后，罗伯特·波义耳和艾萨克·牛顿为化学和物理学奠定了坚实的基础。依靠新的理论和实验技术，科学家开始测量音速、光速和地球质量，并试图研究翅膀的流体力学特性。在这个时期，欧洲是物理学研究的中心，德国更是天才云集的重镇，不过美国人很快迎头赶上，独占鳌头，这样的局面一直延续到了今天。



19世纪末，物理学领域涌现出一批惊人的发现——短短五年内，科学家先后发现了X射线、放射性和电子，新的想法和理论应运而生，在此基础之上，人们又设计了进一步的实验；20世纪初，我们对物质特性的理解突飞猛进。

两次世界大战迫使研究者将工作重点转向军事领域，由此创造出雷达、微波和环磁机，最重要的是，我们开始试着利用核能。二战结束后，基础科学再次蓬勃发展，尤其是在天文学、天体物理和宇宙学领域，科学家开始更加深入地研究宇宙的性质。我们将望远镜送上了太空，那里没有干扰视野的大气；与此同时，我们拥有的计算能力也在飞速增长，根据摩尔定律，高密度集成电路上镶嵌的晶体管数量每两年就会增长一倍，所以电脑的计算能力也遵循同样的发展规律。

21世纪，我们迎来了大科学的时代，许多前所未有的大型昂贵实验纷纷启动，某些实验由数千名物理学家共同参与，为了分析这些实验产生的海量数据，他们动用了多台超级计算机。

即使付出了这么多努力，但我们离物理学的尽头依然非常遥远。无论做了多少实验，每个实验总会带来新的问题，等待我们去一一解答。


ND HEMISPHERE

1．早期实验：公元前430—1307

古代的中国人是伟大的发明家，磁性罗盘、火药、纸、印刷术都出自他们手中，张衡的地动仪更是能探测到远方的地震。除此以外，古中国的天文学家也相当出色，早在1054年，他们就曾观测到超新星爆发。

相比之下，古希腊人对通用科学更感兴趣，亚里士多德是其中的佼佼者，他撰写的著作涵盖了物理学、生物学、动物学及其他诸多科学领域。亚里士多德侧重于理论研究，但恩培多克勒（他出生的年代比亚里士多德还要早得多）、阿基米德和埃拉托斯特尼却做过一些简单优雅的实验。

不过，要说最早的真正的科学家，恐怕还得数11世纪的阿拉伯人海什木。他从埃及的哈里发手下死里逃生后，做了一系列巧妙的光学实验来研究光的特性，并撰写了一本光学专著。最后，弗莱贝格的狄奥多里克通过实验分析彩虹的特性，得到了正确的结果，但他的初衷却与此南辕北辙。

约公元前430年

研究人员：

恩培多克勒

研究领域：

气体学

结论：

空气是一种物质

空气算是“物质”吗？

恩培多克勒探索万物的根源

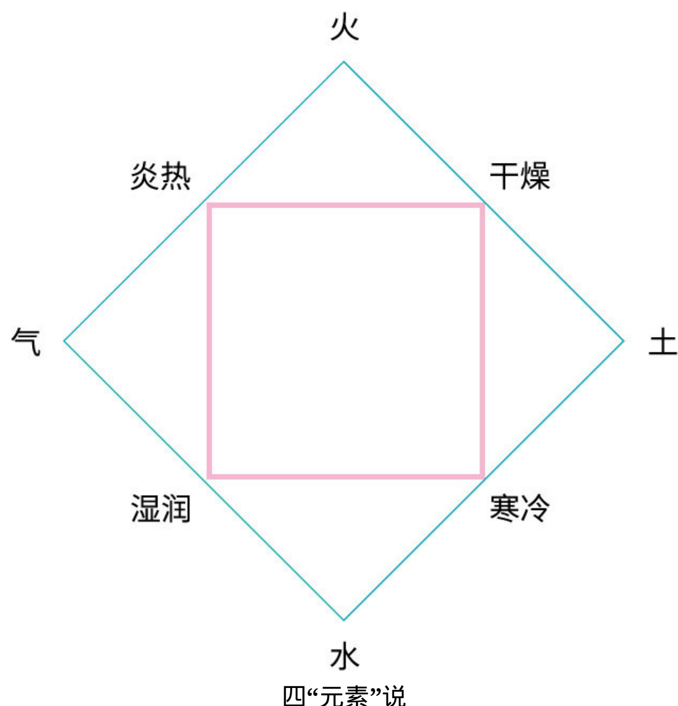
阿格里真托镇位于西西里岛的西南海岸线中央，这里矗立着一座座美丽的希腊神庙遗迹，它们傲然耸立在高高的山脊上，沐浴着地中海明媚的阳光。镇里还有一座宏伟的露天竞技场，公元前5世纪，希腊哲学家恩培多克勒就生活在这里。为了证明四元素理论，恩培多克勒曾做过一系列实验，这是世界上已知最早的科学实验。

四元素说

-

数百年来，人类一直在探索世界的本源，并为此争论不休。泰勒斯认为水是万物之母，因为水既能凝结成冰，又能蒸发为气，所以它或许可以变幻成任何东西。其他人也曾提出过物质是由某些基本元素

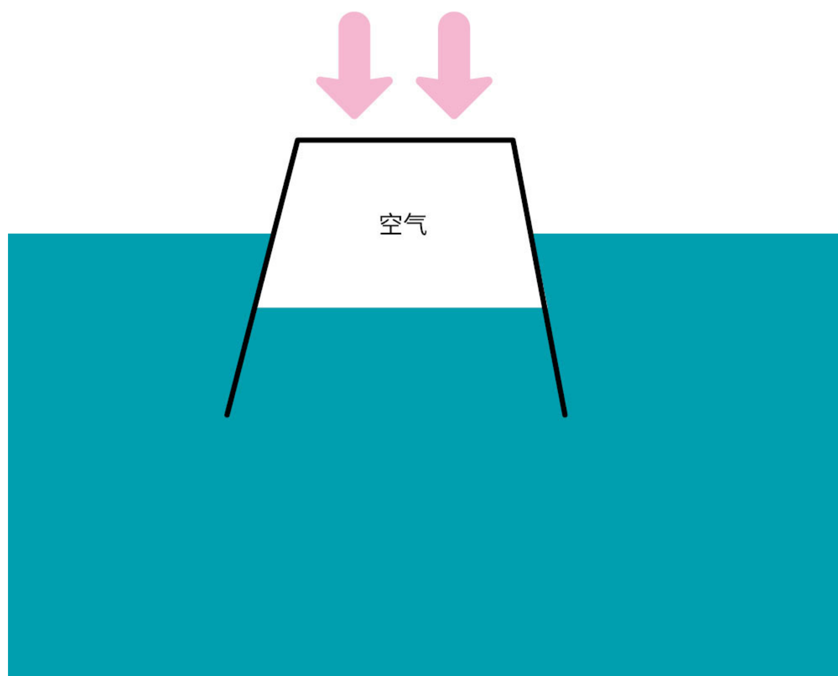
组成的。恩培多克勒宣称，一切物质都来自四种基本元素（或者说“根”）的组合，它们分别是土、气、火和水。他说，每种元素都希望回到自己原来所属的位置，所以土必然下沉，水流奔向大海，水里的气泡总会上升，火总是向着太阳升腾。



四“元素”说

这些元素恒久不变，爱将它们结合在一起，但总有纷扰会将它们拆开，这才有了万物的变化和流转。

不过这套理论也有一点问题，因为一些反对者提出，气不可能是一种元素：空气看不见也摸不着，什么都不是，所以它无法组成物质，更不能成为万物的根源。恩培多克勒指出，水里的气泡会上升，你能够看见那些气泡，它一定是某种物质。但批评者仍然不服，所以恩培多克勒设计了一个巧妙的实验——“淹没的水钟”。



当时的人们用漏壶来计时，陶壶的底部有一个孔，水可以从里面流出来。恩培多克勒堵上壶底的小孔，把漏壶倒扣过来按进海里，海水完全淹没了陶壶；等他把壶从水里拿出来的时候，陶壶的内底完全是干的，所以一定有什么东西把水挡在了外面。壶里只有空气，那么空气自然是一种物质，并非“什么都不是”。

土、气、水、火的四元素说流传甚广，直到两千多年后，罗伯特·波义耳重新定义了元素的概念，这才真正动摇了这套学说。

壮烈的结局

-

恩培多克勒相信自己能够永生不朽，为了证明这一点，他率领追随者登上了西西里岛最东边的埃特纳火山。这是一座活火山，据说恩培多克勒直接跳进了冒烟的火山口。

有传说称，他的一只便鞋从火山口里喷了出来，但从那以后，再也没有人见过恩培多克勒。他的壮举听起来似乎不太明智，但他的名字却因此流传至今，所以，这也许真是成就不朽的好办法。



约公元前240年

研究人员：

阿基米德

研究领域：

流体静力学

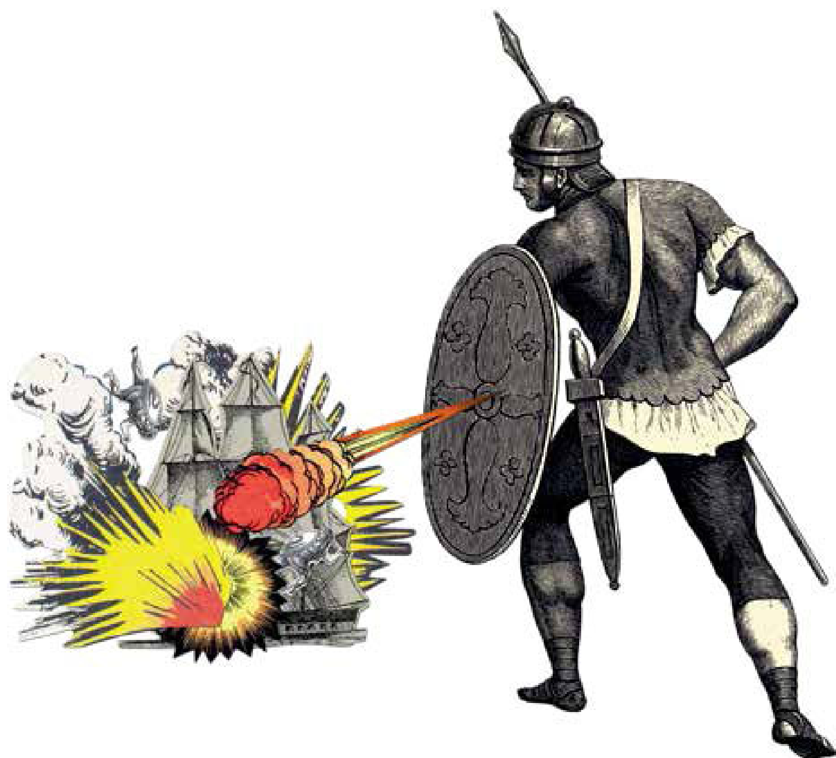
结论：

发现浮力

浴盆里的水为什么会溢出来？

阿基米德的灵光一闪

公元前287年左右，阿基米德出生在西西里岛的叙拉古；公元前212年，这座古城被罗马攻陷，阿基米德死于战火之中。阿基米德是古代最杰出的数学家，他最引以为傲的成就是证明了如果一个球正好能放进一个圆柱体里，就像橘子放进罐头，那么这个球的体积和表面积分别是圆柱容积和表面积的2/3。要知道，那个年代根本没有我们今天耳熟能详的定理和方程。阿基米德要求后人在他的墓碑上刻一幅球放在圆柱里的示意图，137年后，罗马演说家西塞罗正好发现了这块墓碑。



战争机器

-

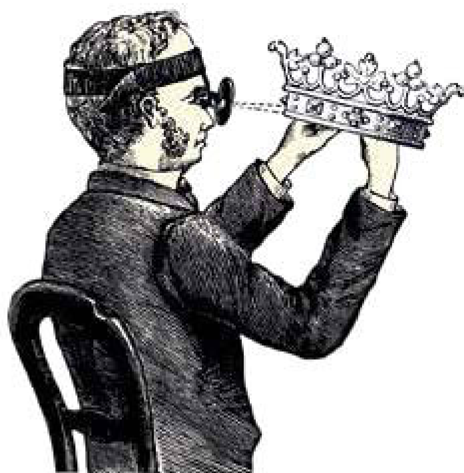
阿基米德是一位娴熟的工程师。公元前212年，罗马军队兵临城下时，他制造了各种各样的防御器械，其中包括投石机和起重机（可以把敌人船只的一头从水里吊起来，让船沉进水里），甚至还有一种“死亡射线”：他指挥大批士兵把闪亮的盾牌举到某个特定的角度，反射阳光烧毁来犯的敌船。

阿基米德还发现了杠杆和滑轮的原理，他曾利用一系列滑轮组成的装置搬运一艘满载的大船，你应该听过他的这句名言：“给我一个支点和一根足够长的杠杆，我就能撬动整个地球。”

可疑的王冠

-

不过，阿基米德最伟大的成就是帮助国王鉴定王冠。暴君希伦二世命令皇家工匠用一块金子为他制造一顶新的王冠，金子的重量大约是2磅（1千克左右）。可是金光闪闪的王冠造好以后，国王却怀疑工匠偷工减料，用等重量的白银换掉了一部分金子。王冠的重量还是2磅，可它真是纯金的吗？希伦派人去见阿基米德，请他解决这个问题。这个任务确实有点困难。王冠非常精美，国王不允许阿基米德对它进行任何破坏。阿基米德冥思苦想，可是一直没有找到答案。有一天，他难得地决定去城里的公共澡堂洗个澡。

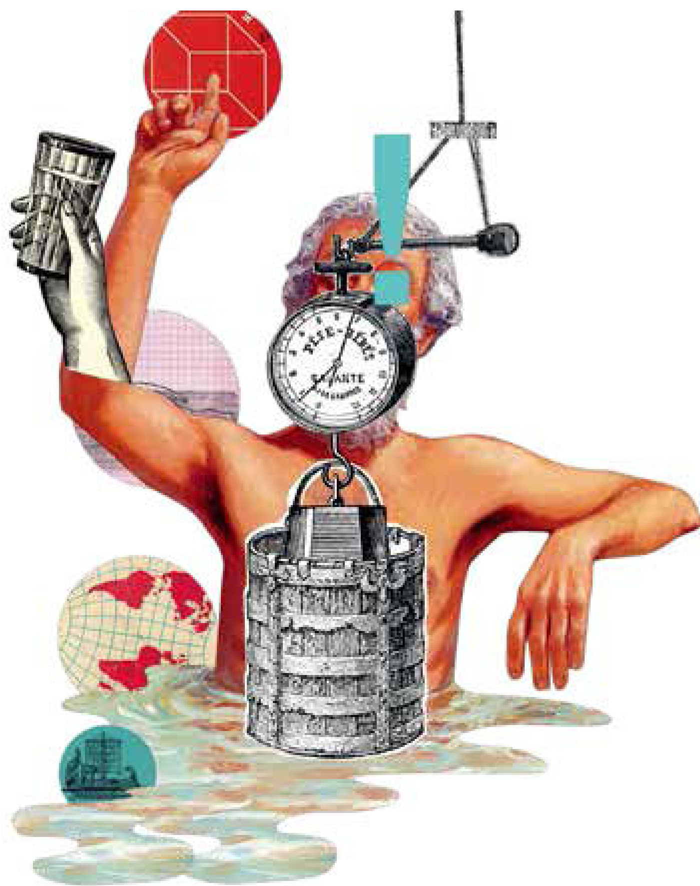


洗了个非常重要的澡

-

阿基米德走进浴盆的时候，他注意到了两件事：第一，他的身体浸入水里以后，浴盆里的水位上升了一点，还有一部分水从浴盆边缘溢了出去。第二，他感觉自己的身体很轻，像是漂了起来。就在这时候，他灵光一闪——有传说称，阿基米德从浴盆里一跃而起，大喊一

声“Eureka！”（意思是“我发现了”或者“我知道答案了”），然后赤身裸体地跑回了家里。



阿基米德的两个发现都很重要：

1．身体浸入水里时会排开一部分水——因为这部分水的位置被占据了。

2．浸在水里的任何物体都会感觉变轻，因为它受到了向上的浮力，浮力的大小等于它排开的水的重量。今天我们称之为“阿基米德定律”。

按照这套理论，阿基米德可以把王冠浸没在一个装满水的桶里，根据溢出来的水的重量，就能算出王冠的体积，用王冠的重量除以体积，最终得到它的密度。

阿基米德知道，2磅纯金的体积是3.17立方英寸（约52毫升），如果王冠里面掺了银，那么它排开的水体积应该大于52毫升，因为银的密度比金小——所以同质量的银体积大于金。

运用阿基米德定律

-

不过，准确测量体积相当困难，所以阿基米德可能运用了浮力定律。他从国王那里借来了2磅黄金，把王冠和金块分别放在天平的两头：天平保持平衡，说明二者重量相等。然后，阿基米德把整套装置都放进了水里。如果王冠不是纯金的，那么它排开的水体积应该大于52毫升，因此它会受到更大的浮力，因为浮力由体积决定。所以，水里的天平放着王冠的那头应该会上翘。

结果不出所料，放着王冠的天平托盘果然往上翘了。工匠的确掺了假，最终他遭到了严厉的惩罚。

阿基米德撰写了多本著作，有一部分留存至今，其中包括《论球与圆柱》《论浮体》和《数沙者》。在最后这本著作中，他提出了一个问题：要填满整个宇宙，需要多少粒沙子？为了计算这么庞大的数目，阿基米德发明了一整套新的数字。

约公元前230年

研究人员：

埃拉托斯特尼

研究领域：

几何学

结论：

地球的周长是25000英里（约40000千米）

如何测量地球？

太阳、影子和早期的希腊几何学

希腊城市亚历山大位于埃及的尼罗河口，公元前322年，亚历山大大帝主持修建了这座雄城。亚历山大港附近有一座名叫法罗斯的小岛，为了保护港口里的船只，大帝修建了一道从港口直通法罗斯岛的防波堤。他说，这里应该有一座伟大的灯塔，于是法罗斯岛灯塔拔地而起，成为古代世界的七大奇迹之一。

公元前3世纪，亚历山大成了希腊世界的文化中心，城里的大图书馆收藏了数十万卷羊皮纸或牛皮纸的手稿。大约在公元前240年，埃拉托斯特尼被任命为大图书馆馆长。作为一位数学家，他设计了一种寻找质数的方法，后来我们称之为“埃拉托斯特尼筛法”。

质数

-

如果你想寻找2～50之间的所有质数（一般来说，1不算是质数），只需要把它们全都写下来，然后画掉所有大于2的偶数，因为这些数都可以被2整除；然后画掉所有大于3且能被3整除的数，再按照同样的方法处理能被5和7整除的数，最后得到的就是50以内的所有质数：2、3、5、7、11、13、17、19、23、29、31、37、41、43和47。

丈量世界

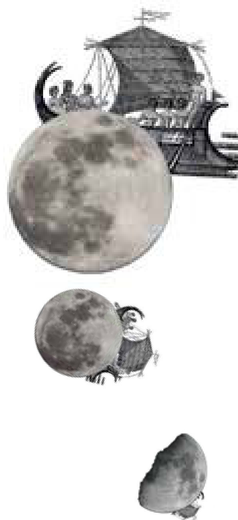
-

埃拉托斯特尼也是一位地理学家，事实上，他可能是古代世界最优秀的地理学家之一。古希腊人知道地球是圆的，他们已经找到了两个可靠的证据。第一，从港口出发的船舶总会慢慢消失在海天交界的地方，最先从视野中消失的是船身，然后才是桅杆。显然，你看不见它，不仅仅是因为远方的船变得越来越小——实际上，它“沉”到了海平线下方，这意味着地球是圆的。第二，他们发现，月食是因为月亮被地球的影子遮住了，而月面上的影子边缘是一道弧线。



既然知道了地球是圆的，埃拉托斯特尼就想弄清它到底有多大。

亚历山大以南500英里（约800千米）的赛尼城（今阿斯旺）位于尼罗河岸边，河道内的象岛上有一口井。埃拉托斯特尼知道，盛夏的正午，任何人都能在这口井的井底看见太阳投下的倒影，这意味着阳光的角度正好与井口垂直。今天，这口古井仍留在原地，可惜的是，井水已经干了，而且井里满是碎石，再也看不见太阳的倒影。



测量太阳的角度

-

埃拉托斯特尼回到亚历山大，将一根棍子垂直地插在地上。盛夏的正午时分，太阳的角度——或者说棍子与它投下的影子顶点之间的角度——是7.2度，即下一页示意图中的角度A。

角度A等于角度A*，因为它们分别位于两条平行线之间的斜线两侧。A*是地心与亚历山大和赛尼城的两根连线之间的角度。接下来的计算就很简单了：

亚历山大与赛尼城之间的夹角 = 7.2度

亚历山大到赛尼城的距离 = 500英里（约800千米）

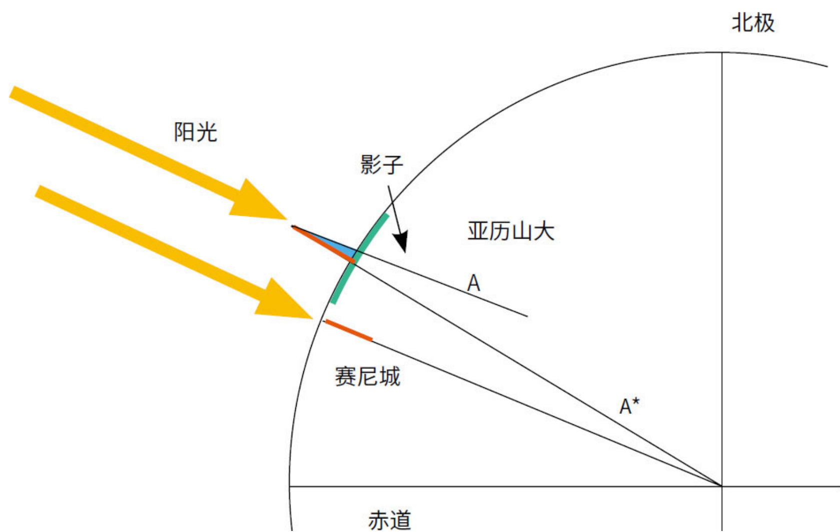
地球圆周角 = 360度 = 50 × 7.2度

因此，地球周长 = 50 × 500 = 25000英里（约40000千米）

亚历山大与赛尼城之间的距离数据来自官方的步量师（这些测量员接受过专门的训练，他们迈出的每一步距离相等，所以只要数一数走了多少步，就能算出两地之间的距离），所以埃拉托斯特尼最终得出的地球周长单位是“视距”，而不是英里。我们不知道这个单位的精确长度，但能够确定的是，埃拉托斯特尼估算的地球周长和今天我们测得的24900英里（约40073千米）相差无几。

埃拉托斯特尼和阿基米德过从甚密，虽然阿基米德比他大了十多岁。阿基米德曾离开西西里，远赴埃及去拜访这位好友，而且他很可能在那里发明了阿基米德式螺旋抽水机。直到今天，埃及人还在使用这种水泵从尼罗河里抽水灌溉田地。

后来阿基米德还给埃拉托斯特尼寄过明信片（或者说是类似明信片的某种东西），讨论了许多复杂的数学问题。其中一个问题是这样的：在一大群牛里，公牛和母牛各有四种颜色，每种颜色的公牛和母牛的数量满足一系列复杂的方程；解开这些方程，就能得出每种颜色的公牛和母牛的数量。满足这些条件的最小整数解需要用超过200000位的数字来表达。


北极
阳光
影子
亚历山大
A
赛尼城
A*
赤道

1021

研究人员：

海什木

研究领域：

光学

结论：

光沿直线传播

光是怎样传播的？

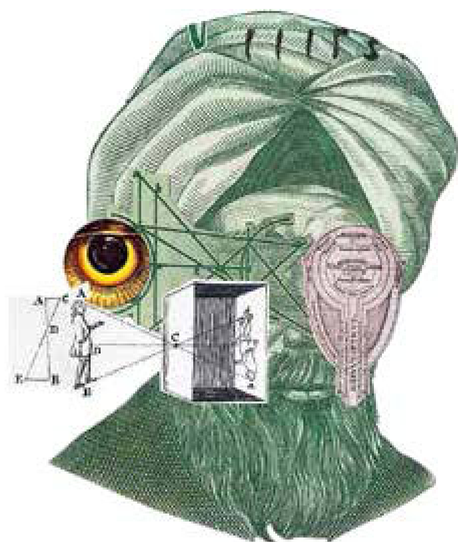
暗箱的诞生

阿拉伯学者穆哈默德·本·哈桑·本·海什木·巴士拉是最早进行系统性实验的科学家之一。

公元965年，海什木出生在伊拉克的巴士拉，后来他曾在巴格达求学。四十多岁的时候，海什木听说尼罗河每年都会泛滥，于是他冒冒失失地给埃及的哈里发写了一封信，毛遂自荐，试图解决这个问题。哈里发高兴地邀请他去开罗，并为他举行了盛大的欢迎仪式，希望他真能解决这个痼疾。

海什木计划在如今的阿斯旺地区修筑一道水坝，这个主意听起来很有道理，但他没有想到建坝的工程居然如此浩大。海什木一路南行到了阿斯旺，他发现尼罗河宽达1英里（约1.6千米），虽然河水的干流分成了几个小的支流，但这样的规模依然超出了他的预想。以当时

的技术，完全不可能修建这么长的堤坝，但海什木不敢坦承自己的失误，因为他知道，严酷残暴的哈里发一定会砍掉他的头。所以海什木决定装疯，“疯子海什木”被软禁了十年，直到1021年哈里发去世。



研究眼睛的工作机制

-

在这十年里，海什木潜心研究光学，为此他做了一系列相关实验。刚开始他研究的是眼睛的工作机制。欧几里得、托勒密和其他学者曾经提出，要看见某件物品——例如一棵树——我们的眼睛会向外射出一束光，照亮那棵树，然后树把光反射回眼睛里，形成图像。亚里士多德则认为，物体的影子会直接投射到我们的眼睛里。

海什木觉得这些说法都站不住脚。无论如何，光是外界客观存在的事物。白天的阳光会照亮万物，树木、房屋、人类，一切物体都会反射光线，照进我们的眼睛。正如海什木所说：“如果有一束光照亮了一件有颜色的物品，那么所有颜色和光一定都来自最初的光源。”我们只需要睁开眼睛，让光涌进来就可以了。为了弄清眼睛里

面有什么，海什木曾经解剖过牛眼，他还画了精美的示意图来阐释人类眼睛的结构和工作机制。

海什木说，月亮靠近地平线的时候看起来更大，是因为地面上有树木和其他物品作为参照，月亮看起来很远，所以显得很大。而当明月孤零零地高悬在天空中的时候，它看起来更近，所以似乎就变小了。

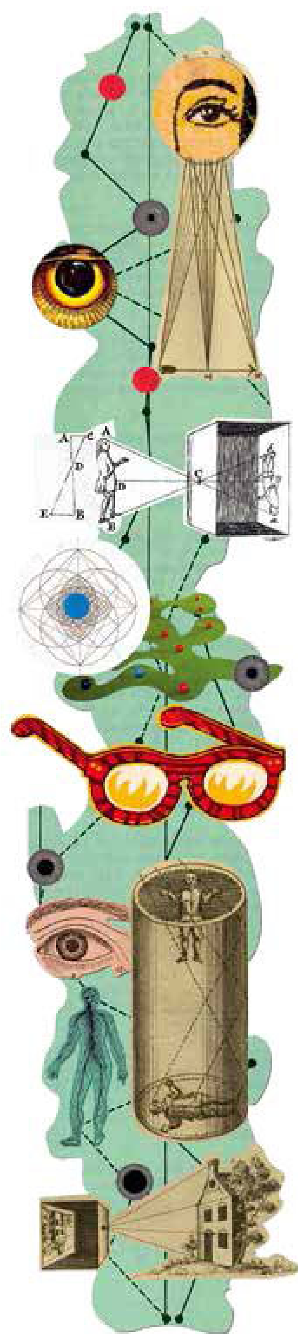
暗箱

-

海什木猜测，光可能是沿直线传播的，因为物体在阳光下的投影边缘都相当清晰。为了证明这一点，他设计了暗箱，这个词的原意是“黑屋子”。暗箱实际上就是一间小黑屋，其中一侧的遮板上有个小孔，遮板对面是一堵白墙或者一块屏幕。埃及灿烂的阳光照亮了外面的世界，也透过小孔照进了小黑屋，将图像投射在对面的墙上。墙上的投影是左右上下颠倒的，但是毫无疑问，你的确可以通过投影看到外面的世界，图像是活动的，而且还有颜色。目睹这一切的人震惊不已，他们从没见到过这样的投影。

海什木解释说，要形成这样的图像，穿过小孔的光必然是沿直线传播的，否则你只会看到一大团各种颜色杂糅的模糊的影子。

他也在晚上做过暗箱实验，这时候外面一片漆黑，唯一的光来自三盏吊灯。而在暗箱里面，小孔对面的白墙上出现了三个光点，它们分别来自外面的三盏灯。吊灯、小孔和光斑之间形成了一条直线，只要用手挡在某盏灯与光斑之间的线上，墙上的光斑就会消失。这个实验有力地证明了光是沿直线传播的。



光学书

海什木还做过一些关于透镜、镜子、反射和折射的实验，他把自己的理论和实验归纳起来，撰写了一本《光学书》。这是世界上最早的实验科学著作，几个世纪后，列奥纳多·达·芬奇、伽利略、笛卡儿和艾萨克·牛顿都对它推崇不已。海什木一共写过两百多本书，但留存下来的只有大约五十本。

不过最重要的是，海什木堪称世界上最早的科学家。有人认为，海什木是科学方法的奠基人，他从不轻信其他作者的论述，而是通过系统地观察研究物理现象，然后根据现象归纳出理论：

> “追求真理的人在阅读他人著作时应该把对方视为假想敌……然后从任何可能的角度攻击对方的论述。对于自己的观点，也同样不可掉以轻心，必须以最严格的方法进行检验，以免被偏见左右，或者一时心软。”

1307

研究人员：

弗莱贝格的狄奥多里克

研究领域：

光学

结论：

光会发生折射和反射

彩虹的颜色从哪儿来？

理解光的折射和反射

德国人狄奥多里克大约出生在1250年之前的某个时间，后来他成了一位道明会修士。从1293年到1296年，狄奥多里克在道明会逐渐升迁到了很高的职位。1304年，道明会在图卢兹举行了一次全体大会，总会长埃梅里克建议狄奥多里克从科学角度研究一下彩虹。

关于颜色的错误理论

-

经过长期的思考，狄奥多里克提出了一套原创的颜色理论，并通过实验进行了验证，但实际上，他的想法错得离谱。现在我们知道，颜色表现为连续的光谱（红-橙-黄-绿-蓝-靛-紫），但狄奥多里克认为，红、黄、绿、蓝是四种“主色”，其中红色和黄色是“清晰的”，或

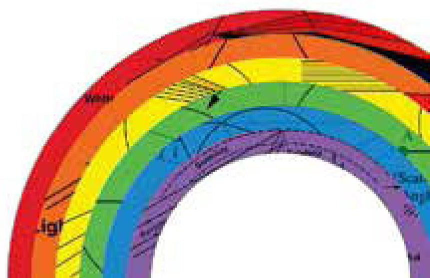
者说半透明的；而蓝色和绿色是“模糊的”，或者说不透明的。

此外，他还相信，光传播到玻璃边缘或水面附近时，清晰的颜色表现为红色，但在玻璃或水体中央远离边界的地方，清晰色就会变成黄色。如果光在透明介质中传播，那么模糊色表现为绿色；如果介质不透明，模糊色就会转为蓝色。

光的折射和反射

-

为了验证自己的理论，狄奥多里克用玻璃棱镜做了一系列实验。他把棱镜放在阳光下，按照四主色理论，棱镜表面附近应该出现“清晰色”，而“模糊色”应该留在玻璃内部；清晰的红色应该出现在离镜面最近的地方，模糊的蓝色应该离镜面最远，因为棱镜深处的透明度最低。综上所述，透过棱镜观察到的色带应该按照红、黄、绿、蓝的顺序排列。



无论是在阳光下直接观察六角棱镜内部，还是让阳光穿过棱镜，在屏幕上投下色带，最终得到的结果都完全符合他的预想。根据狄奥多里克留下的示意图，我们可以推测他知道阳光在穿过棱镜的过程中发生了两次折射——进入和离开棱镜时各有一次——正是这两次折射让白光分成了颜色不同的条带。此外，从示意图中我们还可以发现，光在棱镜内部可能还会发生反射。



光的传播路径

-

然后，狄奥多里克将一个很大的圆玻璃烧瓶装满水来模仿雨滴，然后透过烧瓶观察太阳。抬头和低头的时候，他看见烧瓶内部出现了同样的色带，但是这一次，色带的顺序颠倒过来：最上面是红色，蓝色则跑到了最下面，和彩虹里的色带顺序一模一样。于是狄奥多里克意识到，之所以会出现这样的反转，是因为通过烧瓶的光不但发生了两次折射，还发生了反射。从他的示意图中，我们可以清晰地看到这一点。

通过这种方法，狄奥多里克证明了特定颜色的光线在经过烧瓶时会遵循特定的传播路径，所以我们才会看到颜色。颜色是客观存在的

物理现象，而不是仅仅存在于观察者眼睛里的主观幻影。

于是狄奥多里克提出，光穿过雨滴的传播路径和他在烧瓶实验中演示的一模一样。由于雨滴数量多、速度快，所以虽然它们总在不停地运动，但实际效果却像是一道静止不动的雨帘。

不幸的是，在他绘制的示意图中，太阳和雨滴与观察者之间的距离几乎相等，这意味着穿过雨滴的光不是平行的。虽然这的确能够解释烧瓶折射后的色带为什么是环形的，但我们都知道，它不符合实际情况。

事实上，太阳离我们非常遥远。请想象一下，以太阳和你的头顶为两个定位点，绘制一条延伸至地面的直线——它与地面的交点就是你在阳光下的影子边缘。彩虹与这条直线的夹角永远是42度，因此，太阳在地平线上的时候，彩虹与地面之间的夹角达到最大值——42度。而且彩虹永远都是弧形的，只有在飞机上或山顶上观察时，你才有可能看见完整的圆形彩虹。

你永远无法到达彩虹尽头，因为它根本不是客观存在的物体，只是天空中的一种光学现象。如果你奔向彩虹，它也会不断移动。

反转

-

狄奥多里克把烧瓶调整到某个角度时，他观察到了第二道彩虹，而且这道彩虹的颜色顺序和前面那道恰好相反，它的顶端是蓝色的。这次狄奥多里克立即明白过来：光在烧瓶内发生了第二次反射。

虽然狄奥多里克提出的折射和颜色理论错得离谱，测出来的彩虹角度也不着边际，但他却为我们树立了一个科学研究的好榜样：提出一套理论，然后通过实验去验证，这就是科学方法的基础。

2．启蒙时代：1308—1760

漫长的黑暗年代里，似乎就连哲学家都开始屈从于宗教。如果有人问：“为什么会出现这种现象？”他很可能得到这样的回答：“因为这是上帝的意志。”接下来，终于有一些人开始追寻更符合逻辑的解释，并通过实验来验证自己的想法。17世纪20年代，英国哲学家弗朗西斯·培根撰写了一系列著作，鼓励人们善用自身经验，通过实验来研究科学。

在此之前，罗伯特·诺曼和伽利略已经举起了实验的大旗，不少人紧随其后。艾萨克·牛顿在发表第一篇科学论文时就已展现出惊人的才华。除了他以外，其他学者也开始研究光速、音速以及冰融化成水吸收的热量。不过，这个时期最伟大的成就还得数牛顿于1687年出版的著作——《自然哲学的数学原理》。

1581

研究人员：

罗伯特·诺曼

研究领域：

地球科学

实验结论：

自由漂浮的罗盘指针会深深扎进水里，指向极点

磁北极在哪里？

追逐罗盘指针

在海上漂泊了近二十年后，罗伯特·诺曼在英国伦敦附近定居下来，成了一名设备制造商。他的工作主要是制造罗盘，因为罗盘是水手最重要的导航设备。诺曼用铁来打造罗盘的指针，然后利用天然磁石（一种名叫“磁铁矿”的石头）对指针进行磁化。

诺曼相当了解磁偏角现象——罗盘的指针并不总是指向正北方——不过很快他又发现，除了水平偏角以外，罗盘指针还会往下沉，或者用他的话来说，“下倾”，于是诺曼决定深入探查其中的奥秘。



诺曼注意到，哪怕是质量最好的罗盘指针也无法保持平衡，哪怕支点的位置非常精确，指针的北端依然会微微下倾，因此他不得不在指针南端添加配重。有一天，诺曼制作了一套相当精密的指针和支点，结果却发现指针斜得厉害。为了减轻指针倾斜的程度，他决定把它截短一点。诺曼在笔记中写道：

> “结果我把指针截得太短了，辛辛苦苦做好的东西立即变成了一堆废品，我感觉怒火中烧，于是我下定决心，非得弄明白这件事不可。”

诺曼决定制作一件工具——今天我们称之为“磁倾仪”——来探究这种现象，不过首先他想搞清楚指针北极下倾的原因：仅仅是出于磁场的影响，还是指针北端从磁石里吸收了什么“笨重的物质”？

第一个罗盘

-

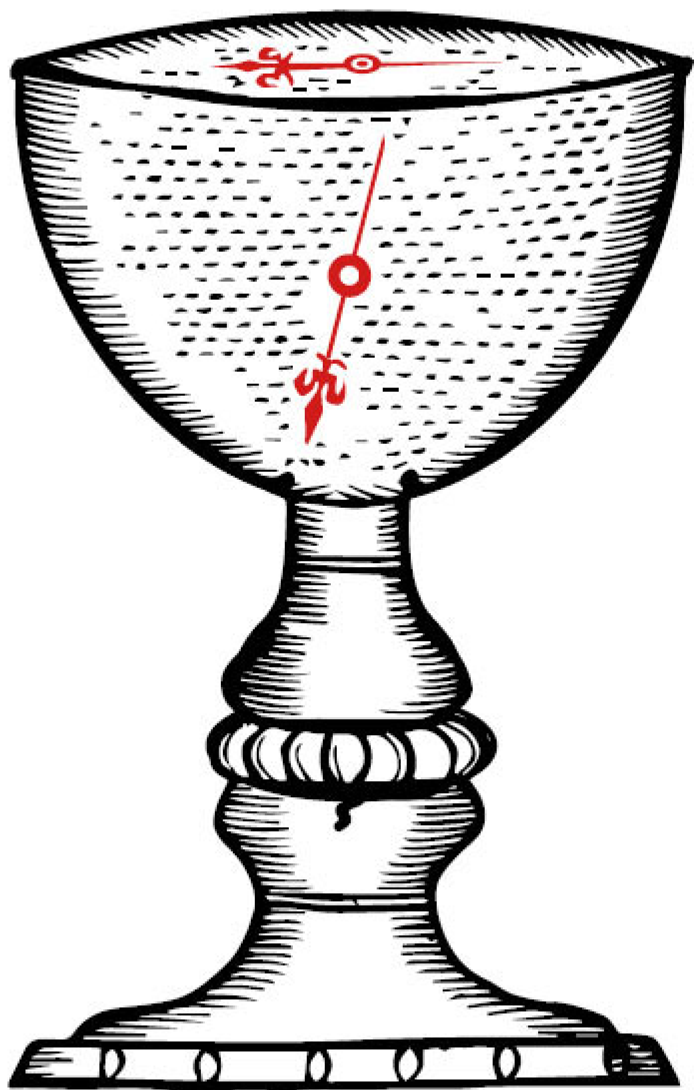
诺曼在天平的一端放了几块铁，然后在天平的另一端放了一些铅块，使天平保持平衡。接下来，他用磁石将铁磁化后重新放回盘子里，并记录了自己观察到的结果：

你会发现，铁在磁化前后的重量完全相同。此外，如果罗盘指针北端从磁石里吸收了什么物质，那么它的南端理应出现同样的变化，二者相抵消，指针北端不应该下倾才对。

酒杯实验

-

现在，你可以找一段大约2英寸（约5厘米）长的铁丝或钢丝，然后把一个软木塞穿在上面。木塞的大小足以带着铁丝漂浮在水面上。



接下来，你应该找个比较深的玻璃杯，如果没有，碗、水杯或者其他容器也行。在容器里装满清水，然后把它放到平稳无风的地方。完成这一步以后，请小心地切削穿在铁丝上的软木塞，让它刚好能够带着铁丝悬浮在水面下大约两三英寸的地方，既不下沉也不上浮，同时木塞两头露出的铁丝也在水面下保持平衡，就像一根完美支撑的杠杆。

换句话说，把软木塞穿在铁丝上以后，诺曼小心地切削木塞，让它正好能够带着铁丝漂浮在水面上。当然，他自己的笔记中写的是“悬浮在水面下方”，但这显然不可能做到，所以我们不妨认为，在他的实验中，水差不多刚好淹没了软木塞和铁丝。

接下来，诺曼取出水中的铁丝，用天然磁石将它磁化后再放回水里。“……你会看见铁丝绕自己的中点旋转，与此同时，也出现了前面描述过的下倾……”

水中的指针可以自由地在三个维度上运动，清晰地指出磁力最强的方向。水提供了理想的实验环境，机械装置不可能达到这样的效果，因为它们的摩擦力太大。

测量纬度

-

诺曼希望能够制造一种仪器，利用磁针倾斜的角度直接测量纬度。因为我们有充分的理由可以假设，离北极越近，磁针下沉的角度——或者说下倾的程度——就越大，二者之间很可能是稳定的线性关系。不幸的是，事情没有这么简单，不过诺曼的确造出了精密的磁倾仪。

接下来，诺曼开始思考天然磁石的磁场：“当然，我个人认为，如果这种特性（磁力）能够通过某种方式转化为人类肉眼可见的实体，那么它应该是球形的，围绕在磁石外面……”

这个想法真的很棒，但诺曼最后还是和正确的结论失之交臂。直到几年以后，威廉·吉尔伯特才发现，地球本身就是一块巨型磁铁，它形成了一个巨大的磁场——所以罗盘指针才会下倾。

1587

研究人员：

伽利略·伽利莱

研究领域：

引力

结论：

无论质量是大是小，所有物体都会以同样的速度坠落

大球和小球：谁坠落的速度更快？

引力和有关坠落的科学

作为实验科学早期阶段的一位重量级人物，伽利略思考世界的方式清晰明了，富有逻辑。他曾写道："自然的规律……可能并不复杂，基本的规律或许只有寥寥几条。"这听起来和奥卡姆剃刀原理异曲同工。

伽利略还曾写道："自然哲学（例如科学）是用……数学语言写成的，它的特性可以表达为三角形、圆形和其他几何图形。"

1581年的某一天，伽利略坐在比萨一座宏伟的大教堂里，无聊的他注意到头顶的黄铜大吊灯正在随着气流摇晃。教堂高耸的穹顶上垂着长长的链子，挂在链子上的吊灯缓慢地左右摇摆。伽利略利用自己的脉搏测量了吊灯摇摆的频率，然后他惊讶地发现，无论吊灯摇摆的幅度有多大，每次摇摆花费的时间都完全相同。



单摆实验

-

回家以后，伽利略将配重块系在绳子上，做了几个单摆来探究这一现象。他发现，单摆的重量和振幅都不会影响最终的结果，唯一与摇摆周期有关的值是绳子的长度。要想让单摆每次摇摆花费的时间增

加到原来的两倍，那么绳子的长度需要变成原来的四倍。现在我们知道，单摆摇晃的周期公式可以表达为$t=2\pi\sqrt{l/g}$，其中时间t以秒为单位，l是摆绳的长度，g是地球表面的重力加速度，即396.2英寸/平方秒（约10米/平方秒）。

伽利略意识到，根据这一特性，单摆非常适合用来校准机械钟，于是他亲自设计了一份图纸，不过直到1642年伽利略去世，他的设计依然停留在纸面上。直到15年后，荷兰博学家克里斯蒂安·惠更斯才制造出了世界上的第一座摆钟。

坠落的物体

-

1589年，伽利略开始思考亚里士多德的学说，尤其是关于物体坠落的论断。亚里士多德曾经说过，较大的物体坠落速度比小的物体更快，如果一块石头的重量是另一块石头的两倍，那么同时放手，较重的石头一定会先落地。

伽利略很想验证亚里士多德的理论，于是他设计了一个实验。传说他爬到了著名的比萨斜塔顶上，然后把两个重量不同的球同时扔了下去，观察二者坠落的速度。不过这个实验做起来有些困难，要做到同时放手就不太容易了，而且两个球坠落的速度太快，观察者可能根本看不清它们谁先落地，更别提准确测量落地的时间。

倾斜的平面

-

据我们所知，伽利略在一根木梁上挖了一道槽，然后打磨光滑，还在槽的内表面蒙了一层羊皮纸。然后，他支起木梁的一端，把光滑的铜球放进槽里，让它沿着梁向下滚动。利用这个倾斜的平面，伽利略实际上减缓了铜球坠落的速度，因此他可以方便地观察测量相关数

值。

实验的难点依然是计时，刚开始伽利略靠自己的脉搏来计时，后来也用过水钟，最后他想到了利用声音来测速。他在沟槽旁边装了一排小铃铛，球滚过去的时候会碰到铃铛，发出清脆的声音。通过铃铛的声音，就可以比较准确地估算铜球的速度。

铃铛以相等的间距排列在沟槽旁边，随着铜球向下滚动，相邻的两个铃铛发声的间隔越来越短，换句话说，铜球在滚动的过程中，速度在不断地变快。伽利略不断更换铃铛的安装位置，最后发现，如果相邻的铃铛之间的间隔分别是1、3、5、7、9个单位，那么铃铛被碰响的时间就差不多是均匀的，也就是说，这些铃铛距离起点的距离分别是1、4、9、16和25个单位。通过这种方式，伽利略证明铜球在第1秒运动了1个单位，前两秒4个单位，3秒9个单位，4秒16个单位，5秒则是25个单位——换句话说，铜球运动的距离与时间的平方成正比。



均匀加速度

-

伽利略意识到，铜球的加速度是恒定的，或者用他自己的话来

说：“从静止开始运动的物体在相等的时间段内获得的速度增量相同。”

伽利略的数学知识不足以让他推导出自由落体的运动公式，几十年后，牛顿将完成他未竟的工作。不过，这位意大利科学家的确证明了大球和小球沿着斜坡向下滚动的速度完全相同，亚里士多德的理论实际上是错的。

1648

研究人员：

布莱兹·帕斯卡

研究领域：

气象学

结论：

气压会随着海拔的升高而降低

山顶上的空气更稀薄吗？

大气压力

布莱兹·帕斯卡出生在法国克莱蒙费朗，小时候的帕斯卡就是赫赫有名的神童，长大以后，他成了一名数学家和物理学家。帕斯卡发明过一种计算器，与此同时，他也是纯数和数学概率领域的先驱。除此以外，帕斯卡对伽利略和托里拆利的工作很感兴趣，沿着前人开拓的道路，他最终发现了气压升降的奥秘。

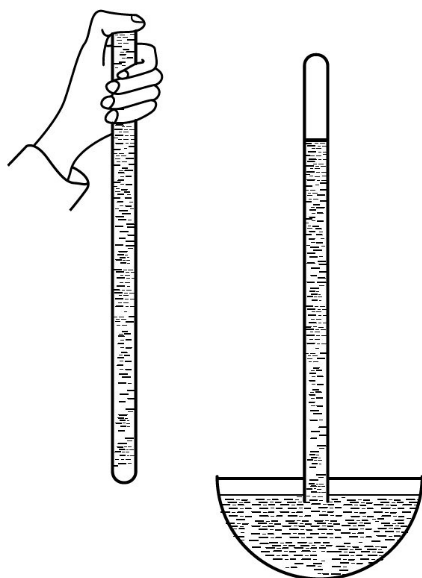
伽利略和托里拆利

-

1642年，伽利略在去世前不久听到托斯卡纳大公手下的水泵制造商说起，他们的泵最多只能把水抽到大约30英尺（约9米）的高度。伽利略对这个问题颇有兴趣，去世之前，他还跟随侍在身边的学生埃

万杰利斯塔·托里拆利谈起过这件事。

托里拆利决定利用水银来研究这个问题。因为水银的密度是水的14倍，所以要获得同样的效果，只需要一根不到3英尺（1米）高的水银柱。



托里拆利实验

托里拆利制造了一根长约3英尺（1米）的玻璃管，他封住管子的一头，在里面灌满水银。然后，他用手指堵住玻璃管的开口，将它倒放在一个装满水银的碗里。结果发现，玻璃管里的水银下降到了碗内液面上方大约29英寸（约74厘米）的位置。

玻璃管内水银液面上方的空间是什么？人们为此展开了激烈的争辩。托里拆利认为，那就是真空，但相信他的人寥寥无几，因为按照亚里士多德的说法，“自然界厌恶真空”，所以真空完全就不可能存在。

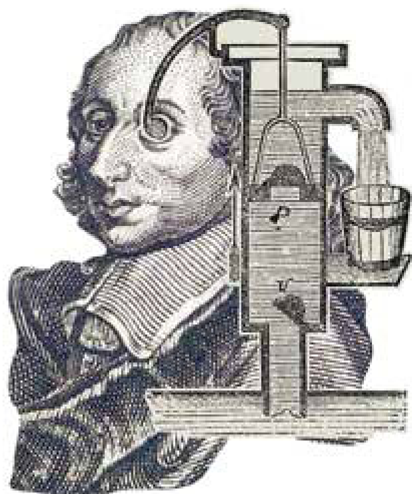
托里拆利也许还注意到，玻璃管内的水银液面会随着天气的变化

上升或下降；沿着这条路走下去，接下来他就会发明气压计。遗憾的是，1647年托里拆利就去世了，所以他没有机会继续探究这个问题。

帕斯卡的实验

-

布莱兹·帕斯卡对托里拆利的工作很感兴趣，他把水银换成其他各种液体做了一系列实验，最终都得到了相似的结果。帕斯卡很想知道，是什么力量让玻璃管内的液体始终维持在一定的高度，会是大气的重量吗？如果真是这样，山顶上的大气压力应该比平地上小，因为那里的空气更加稀薄。于是帕斯卡大胆地推测，要是把同样的设备搬到山顶上，那么玻璃管内的液面应该会下降。



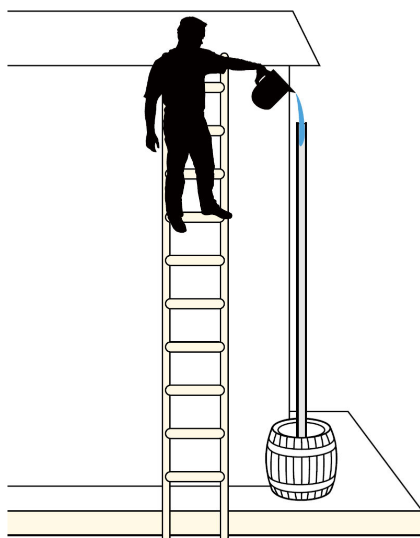
帕斯卡费了一番唇舌，终于说服了连襟弗罗林·佩里埃来帮他做这个实验。佩里埃住在法国中部的克莱蒙费朗，附近有一座3900英尺（约1189米）高的死火山——多姆山。1648年9月19日早上8点，佩里埃从山脚下的修道院出发前往山顶。动身之前，他测量了玻璃管里水银柱的高度："我发现玻璃管内的水银柱比下方容器里的液面高26英寸3.5线（1英寸＝12线≈2.5厘米）。"

在几位助手的帮助下，佩里埃带着4英尺（约1.2米）长的玻璃管和16磅（约7千克）水银爬上了山顶，在这里，他发现水银柱的高度下降到了23英寸2线，“我小心翼翼地重复读了五次数据……每次在山顶上选取的位置各不相同……但无论在哪里……水银柱的高度始终保持一致”。换句话说，山顶上的气压的确比山脚下更低。

帕斯卡原理

-

于是帕斯卡的理论得到了有力的验证，支撑玻璃管内水银柱或水柱的力量的确来自大气的重量。事实上，现在我们知道，海平面上的气压大约是15磅每平方英寸（psi），或者说100千帕（kPa）出头。1帕等于1牛顿每平方米。



帕斯卡的木桶实验

100千帕气压等于0.1牛顿压力每平方厘米（N/cm^2）；这意味着你的每个脚指甲都承受着大约0.1牛顿的压力。幸运的是，指甲下面还有弹性十足的血肉，足以抵抗强大的气压。

帕斯卡还证明了液柱底部的压强与它的高度成正比。按照他的理论，在装满水的木桶上方垂直放置一根33英尺（约10米）长的细管，然后从细管顶部向管内注水，木桶很快就会被压裂。

帕斯卡指出，密闭容器内部各处的压强始终相等，今天我们称之为“帕斯卡原理”。注射器和液压系统都是根据帕斯卡原理发明出来的。

1660

研究人员：

罗伯特·波义耳

罗伯特·胡克

研究领域：

气体力学

结论：

一定质量的气体体积与它的压力成反比

轮胎为什么要充气？

气压和真空的力量

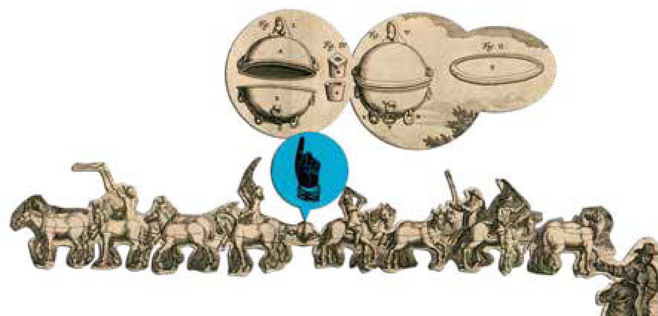
1627年1月25日，罗伯特·波义耳出生在爱尔兰南岸的利斯莫尔城堡里。少年波义耳曾跟随一位法国导师游历欧洲，回家以后，便决心要成为一名科学家。他加入了一个名叫“无形学院”的组织。该组织后来更名为“伦敦自然知识促进会”，然后逐渐变成了今天的皇家学会。

马德堡半球

-

马德堡市长奥托·冯·居里克在1654年制造了一个气泵，希望借此展示真空的力量，更确切地说，是气压的力量。1657年，居里克用气泵抽空了两个直径12英寸（约30厘米）的铜半球，于是气压让两个半

球紧紧地合在了一起，就连两组马都无法将它们拉开；直到居里克将空气重新注入球内，两个半球立即毫不费力地分开了。



马德堡半球

与此同时，波义耳继承了爱尔兰的几片土地和一笔财富，移居到了牛津。他对托里拆利和帕斯卡的工作有所了解，听说了马德堡半球实验后，他雇用罗伯特·胡克制造了一个气泵，做了一系列实验。1660年，波义耳将自己的实验结果结集出版，这本书名叫《力学新实验：关于空气弹性及其效应的物理》。

气泵实验

-

波义耳和胡克用气泵抽空了一个很大的钟形玻璃罐，容器内的气压可能还不到正常气压的十分之一，几乎可以视为真空。抽空玻璃罐之前，他们在里面放置了一些实验装置。这两位科学家的真空实验得出了下面的结果：

·燃烧的蜡烛会熄灭，这说明火焰燃烧需要空气。

·外部观察者无法听见真空罐里的铃铛发出的声音，所以声音需要空气才能传播。

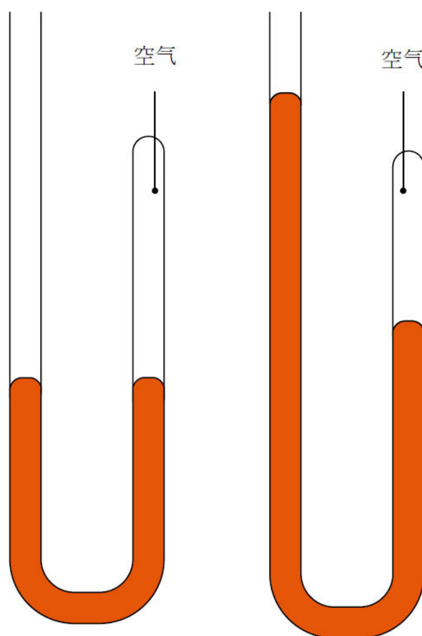
·烧红的铁在真空中会继续发光，所以光的传播不需要空气。

·真空罐内的鸟和猫都死了，因此空气是生命的必需品。

J形管实验

-

在波义耳和胡克的实验中，如左图左侧所示，玻璃管内的水银将一小段空气封闭在管子末端。如果把管子放进钟形罐里，然后抽空罐子里的空气，玻璃管内的空气承受的压力就会减小；而若是继续往管子里注入水银，封闭空气承受的压力就会增大，如左图右侧所示。



J形管

波义耳和胡克发现，如果压力减小，玻璃管内的空气体积就会变大；若是压力变大，空气体积则会缩小，但波义耳在书中并未深入探讨这一现象。

与此同时，在英国的兰开夏，汤利庄园的理查德·汤利与物理学家亨利·鲍尔也用J形管做了一系列实验。1661年4月27日，这对搭档在

潘多山海拔约1000英尺（约300米）的山腰上用J形管采集了一份“山谷空气”样品。到达山顶以后，由于这里的气压较低，他们发现管子里的空气体积变大了。于是两位科学家又采集了一份“山顶空气”。回到山脚下以后，他们发现，空气体积缩小了。

那一年冬天，汤利和波义耳讨论了自己的实验，他提出，空气的体积和压力之间可能存在反比关系。于是波义耳做了几个定量实验，然后一丝不苟地记录下了自己的观察结果，最后他得出结论，一定质量的气体体积与它的压强成反比，这就是现在我们所知的“波义耳定律”。

空气的弹性

-

波义耳认为，空气由无数极小的羊毛圈似的微粒组成，这些粒子在受力时会像弹簧一样压缩，不过一旦压力消失，它们立刻就会反弹回来。他专门写了一本书来阐述空气的弹性。正是出于这个原因，我们的汽车和自行车都采用了充气的轮胎，因为空气的弹力有助于减轻路面的颠簸。

气压计

-

有传言称，托里拆利并未发现静置的玻璃管里水银柱的高度会出现细微的变化，但波义耳和胡克的确注意到了这个现象，他们推测，这可能和潮汐的变化有关。不过经过反复观察，两位科学家发现，水银柱的高度和潮涨潮落毫无关系，实际上，水银柱在天气晴朗时会升高，阴云密布时则会降低，尤其是在暴风雨来临的时候，水银柱会出现明显的下降。所以，气压计的发明者应该是波义耳和胡克，而不是托里拆利——虽然他的确为两位后来者指明了方向。

1672

研究人员：

艾萨克·牛顿

研究领域：

光学

结论：

白色是彩虹的所有颜色混合形成的

“白色”是一种颜色吗？

探究白光的特性

艾萨克·牛顿自幼体弱多病。他出生于1642年的平安夜，刚出生的牛顿看起来又瘦又小，大家都觉得他根本熬不到白天。牛顿三岁时，他的父亲去世了，随后他的母亲改嫁给了一位有钱的牧师，可怜的小男孩被托付给了粗枝大叶的外祖父母。孤独的童年赋予了牛顿内省的性格，他喜欢专注地思考各种各样的问题，从彩虹的颜色到月亮和行星的运行轨道。这让他成了历史上最伟大的科学家。

17世纪60年代末，牛顿设计制造了一台反射望远镜——这是世界上最早的反射式望远镜。后来他又造出了第二台。当时牛顿在剑桥大学担任卢卡斯数学教授，他在课堂上提到了自己的发明。皇家学会的管理者看到望远镜后立即授予了牛顿院士资格，并询问他还做了哪些研究。1672年2月6日，牛顿给皇家学会写了一封回信，详细阐述了自己的棱镜实验。

光谱

-

“我制造了一间暗室，然后在窗户的遮光板上凿了一个小洞，让一束阳光透过小洞照进暗室。接下来，我把棱镜放在光束中，将阳光折射到对面的墙壁上。”

透过棱镜的阳光形成了五彩斑斓的光谱，色带的长度是宽度的五倍，牛顿大吃一惊。他试着调整各个实验条件：将棱镜放到遮光板外面，让光束照射棱镜更厚的部分，把遮光板上的洞开得更大，但结果还是和原来一样。于是牛顿得出结论，自己观察到的现象一定来自光的折射。



牛顿仔细测量了房间的长度，由此计算出光的折射角度，最后发

现，蓝光的折射角大于红光。牛顿宣布，他在光谱中观察到了七种颜色：红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫。大部分人觉得蓝色就是光谱的尽头，但下方的色带的确还有细微的差异。或许牛顿的眼睛特别敏感，或许他早就认定了颜色应该有七种，因为“七”在他心目中拥有神秘的重要地位。

> “然后我开始猜测，也许光……不是沿直线传播的，也许不同颜色的光各自按照一定曲率的弧线传播，所以才会在墙上投下斑斓的色带。当我想到被球拍击飞的网球沿弧线飞行，我就更加怀疑这一点了。”

旋转的网球一侧受到的空气阻力比另一侧更大，所以牛顿猜测光粒子也会产生相似的效果——他相信光由粒子（或者说“球状体”）组成。可是他的实验表明，光的确是沿直线传播的。

接下来，牛顿做了一个所谓的“判决性实验”。他在一块板子上戳了个洞，然后把它放在墙和棱镜之间，每次只允许一种颜色的光透过小洞。挡板后有另一块棱镜，某种颜色（比如说绿色）的光透过小洞穿过第二块棱镜，再次发生折射，在墙上投下一片绿色的光影。牛顿发现，光第二次折射的角度和第一次完全相同，而且颜色不会发生任何变化，也不会进一步分化成其他颜色。

白光是什么？

-

牛顿总结道，阳光“由不同折射角度的光线组成，根据折射角的不同，这些光线在墙上投影形成色带”。换句话说，白色的阳光是所有颜色的光混合组成的，棱镜可以把白光分解成色带，因为每种颜色的光折射角度各不相同。“基于同样的原理，我们可以解释坠落的雨滴里为什么会出现彩虹。”

最后，牛顿用一组透镜（或者另一个棱镜）将所有颜色的光重新组合形成白光。在附言的四个段落中，他描述了自己如何意识到反射式望远镜可以消除普通透镜式望远镜难以摆脱的色像差，于是他亲自造了一台新式望远镜，用它来观察木星的卫星和新月相位的金星。



然后牛顿继续写道：“所有自然物体的颜色都来源于此，我们之

所以会看到物体的颜色，是因为它反射了更多这种颜色的光。”在暗室里，牛顿把各种物体放在光谱中观察，结果发现，任何物体都可以随心所欲地改变颜色，但是“如果物体在阳光下呈现某种颜色，那么只有在这种颜色的光带中，它看起来才最为鲜艳生动”。

1676

研究人员：

奥勒·罗默

研究领域：

光学

结论：

罗默测量得出，光的传播速度约为133000英里/秒（约214000千米/秒）

光速是有限的吗？

探寻光的速度

1672年，丹麦科学家奥勒·罗默应邀离开哥本哈根前往巴黎，成了法国的皇家数学家，他还有一个任务是教导路易十四的儿子。罗默在皇家天文台完成了大量观测。当时这里的台长是意大利天文学家乔凡尼·多美尼科·卡西尼，卡西尼发现了土星环上的缺口，直到今天，这道缝隙仍被称作“卡西尼缝”。

木星的卫星

-

当时卡西尼一直试图解决在海上测量经度的问题。1610年，伽利略发现了木星最大的四颗卫星（它们被统称为“伽利略卫星”），于是

他提出，可以利用这几颗星星来测量经度。这些卫星绕着木星沿固定的轨道运行，其中木卫一的轨道离木星最近，它的大小和月球差不多，公转周期还不到两天。

只有在这些卫星运行到木星正面时，地球上的观察者才能看见它们，然后卫星逐渐消失在那颗巨大行星的阴影中，直到下一次重新出现在阳光下。如果水手能够测量木卫一的运行周期，再与事先制好的表格比对，就能算出自己所在的经度，因为在地球上不同地点观测到的木卫一离开木星阴影的时间会有细微的差别。

但这种方法有几个问题。第一，要等待木卫一出现，你需要持续观察很长一段时间，这不是一件容易的事情，而若是空中有云遮挡，你可能根本看不见那颗卫星。另外，定点观察在陆地上很容易做到——只要有望远镜就行——但海上的船时时刻刻都在运动，几乎不可能长时间固定在某个位置。所以，利用木卫一来计算经度实际上根本不可行。

尽管如此，巴黎皇家天文台的天文学家还是搜集了木卫一大量的运行数据，卡西尼也曾制作表格，预测什么时候能在地球上的各个地点观察到它。

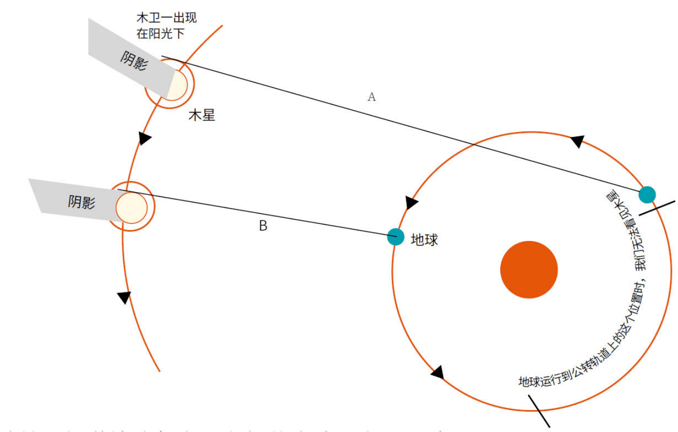
发现异常

-

罗默意识到，这些数据里隐藏着一些秘密。卡西尼的表格不太可靠，有时候需要修正，但更严重的问题是，按照表格中的数据，地球与木星的相对位置会出现有规律的异常变化。

每年中有几个月的时间，地球上的人们根本看不到木星，因为它运行到了太阳背面，或者离太阳的位置太近，完全被恒星的光芒掩盖，所以无法观察。不过，当木星重新出现在我们的视野中时，它与

地球的距离相当遥远（见下方示意图中的距离A）。接下来，地球在轨道上继续运行，我们与木星间的距离逐步缩小，直至抵达最近点（见下页示意图中的距离B），然后两颗行星间的距离才会再次拉开。



利用天体计算经度

天文学家惊讶地发现，地球与木星之间的距离最近时，我们看到木卫一的时间比木星刚刚出现在视野中的时候早了11分钟；换句话说，木星分别位于近地点和远地点时，木卫一离开木星阴影的时间有11分钟的误差。唯一可能的解释是，光需要11分钟的时间才能跑过这段距离，即A与B之间的差值。

罗默并不知道地球与太阳之间的准确距离，不过根据当时最准确的估测值，他算出了光在这11分钟内的传播速度至少应该是133000英里/秒（214000千米/秒）。这个值比我们今天公认的光速（186000英里/秒或299792458米/秒）慢了大约25%，不过这毕竟是人类第一次测量光速，考虑到测量的难度，这个值已经算是非常接近。

巧妙的预测

1676年9月，罗默预测称，9月9日木卫一出现的时间会比表格里的理论值晚10分钟。结果他说的完全正确。

尽管如此，卡西尼仍拒绝接受罗默的假设和推理，而罗默也从未正式发表过自己的研究成果。不过，去英国访问的时候，罗默得到了牛顿和爱德蒙·哈雷的赞同和支持。后来罗默回到哥本哈根，成了丹麦的皇家天文学家，并出任了皇家天文台台长。

1687

研究人员：

艾萨克·牛顿

研究领域：

力学

结论：

在没有外力作用的情况下，物体将保持静止或匀速直线运动

“苹果砸头”的故事是真的吗？

牛顿运动定律

1665年，剑桥大学因瘟疫而暂时关闭，艾萨克·牛顿回到了家乡。这段时间里，这位孤独的思考者做出了一生中最重要的科学发现。

传说牛顿住的房子前面有一棵很老的苹果树——他看到苹果从树上落下——于是他想到，一定有什么力量把苹果从树上拽了下来，所以可以推测，地面会产生向下的拉力，其作用范围至少能延伸到苹果树顶。那么，这种拉力的效果能延伸到月亮上吗？如果能，它就将影响月球的运行轨道。这会是真的吗？

根据传说，牛顿一把拽过母亲的地契，直接在背面开始演算。他意识到，物体所在的位置越高，它受到的引力就越小，于是牛顿猜测，物体与地心距离的平方和引力成反比。他认为自己的计算结

果“看起来很接近事实”。牛顿还进一步推测，其他绕轨运动的天体之间也存在同样的引力，所以他称之为“万有引力”。

不过在接下来的十多年里，牛顿并未对外公开自己的发现。直到某一天，三位朋友——爱德蒙·哈雷、罗伯特·胡克和克里斯多佛·雷恩——像往常一样在咖啡馆里聊天，谈到彗星的运行轨迹时，他们展开了争执。胡克觉得自己能算出彗星绕太阳运行的轨道，结果却失败了。

访问剑桥

-

哈雷是牛顿为数不多的朋友之一。1684年，哈雷前往剑桥拜访牛顿时谈到了彗星轨道的问题，如果天体之间的引力与距离的平方成反比，那么彗星运行的轨迹会是什么样的？牛顿立即回答，应该是一条椭圆形轨道。这个答案之所以会脱口而出，是因为他早就算过——不过接下来他马上发现，原始的演算草稿居然找不到了。于是他答应重新算一遍，再把结果寄给哈雷。

同年11月，牛顿完成了这篇论文——《论天体的轨道运动》，他在文中解释了引力与距离平方成反比的理论。1687年，牛顿不朽的巨著《自然哲学的数学原理》出版发行，人们通常简称为《原理》。

这部艰深的著作用拉丁文写成，书中不光介绍了平方反比公式和万有引力，还提出了我们今天熟知的牛顿三大运动定律，由此奠定了经典力学的根基。

苹果的故事

-

威廉·斯蒂克利是一位古文物研究者——他醉心历史，热爱考古，

为巨石阵的研究做出了巨大的贡献。除此以外，斯蒂克利还是牛顿的好朋友，他为这位伟大的科学家撰写了第一本传记。在这本书里，斯蒂克利生动而骄傲地记录了发生在1726年4月15日的一场对话：



“我前去拜访艾萨克·牛顿爵士……并和他一起待了一整天。那天的天气很好，晚饭后我们来到花园里，坐在苹果树下喝茶。

牛顿告诉我，他之所以会想到引力的概念，最初的灵感来自树上掉落的苹果。苹果为什么总会垂直掉到地上，而不是向上飞、向左向右运动，或者沿斜线落地呢？”

斯蒂克利继续写道，这些问题“在他的脑海里盘旋”，“于是他反复思考，最终发现了万有引力和引力的作用机制；接下来，他开始运用这些规律来解释天体的运动和物质的聚合，由此发现了宇宙哲学的真正法则”。

1727年，牛顿的助手约翰·康杜特在他撰写的牛顿传记中同样提到了这件事：“1666年，牛顿再次离开剑桥，回到林肯郡的母亲家里。有一天，他满怀心事地在花园里散步，看到苹果后突然想到，引力不仅仅作用于地面上的这一点空间，它的延伸范围比我们通常以为的要远得多。”

所以，牛顿至少给两个人讲过苹果的故事，不过这时候距离事件发生已经有60年了，也许这个故事只是他随便编的。

他为什么要编造这个故事？

-

根据牛顿留下的信件我们可以推测，在1682年之前，他一直认为行星绕太阳运行的轨迹是一个巨大的旋涡，就像从排水孔流出去的水一样。这套理论最早是笛卡儿提出的。不过到了1682年，哈雷彗星的出现推翻了笛卡儿的假设，因为它运行的方向与其他行星完全相反。

1674年，胡克就曾提出引力的概念，也几乎完成了相关的数学计算。牛顿绝不肯承认胡克能在任何事情上胜过他，也许正是出于这个原因，他才编造了发生在多年前的苹果的故事，来证明自己在1666年就想到了引力的概念，比胡克早得多。

1760

研究人员：

约瑟夫·布莱克

研究领域：

热力学

结论：

冰变成水，水变成蒸汽都需要吸收热量

冰是……热的？

通电流体的性质

苏格兰裔的约瑟夫·布莱克出生于法国南部，因为他的父亲是一位葡萄酒商，所以他们家在波尔多拥有一幢洋房，还在附近买了一座带农舍的葡萄园。

对布莱克来说，去寒冷的贝尔法斯特求学应该是一段颇为痛苦的经历，后来他又去了格拉斯哥大学进修科学和医学。18世纪50年代初，仍在攻读博士学位的布莱克首次分离出了纯净的气体，他得到的是二氧化碳，当时的人们称之为“凝固的空气”。

融化的雪

-

1755年和1756年的冬天格外寒冷。1757年，布莱克成为格拉斯

哥大学的教授以后，他开始对冰雪的融化产生了兴趣。他曾在课堂上讲道：



“如果我们深入思考冰雪融化的现象……尽管最开始冰雪的温度很低，但很快它们就会被加热到熔点，于是冰雪的表面开始融化成水。如果……冰融化成水只需要吸收一点点额外的热量，那么无论冰块的体积有多大，它都应该会很快融化……要是事实果真如此……春天的洪水应该来得比现在凶猛得多。”

事实上，冰雪融化可能需要花费几周甚至几个月时间，于是布莱克推测，这个过程或许并不容易。但这是为什么呢？

他观察到，“就算没有温度计，我们也可以轻松地察觉到，较热物体的热量总会向周围较冷的地方扩散，直至温度分布均匀……热量达到某种平衡的状态”。

利用温度计，布莱克做了个实验。他把1磅（约0.45千克）热水和1磅冷水混在一起，最后得到的2磅水温度正好处于两者之间。

然后，布莱克又设计了另一个实验。他在两个一模一样的烧瓶里装满水，然后将烧瓶A冷却到接近冰点，即32℉（0℃），烧瓶B则刚

好冷却到冰点以下，里面的水自然就结冰了。接下来，他把两个烧瓶并排悬挂在安静的房间里，等待瓶内物质在室温下自然升温。烧瓶A里的水半小时后就达到了室温，但烧瓶B里的水达到同样的温度却花了超过十个小时。显然，冰变成水需要吸收大量的热，直到冰完全融化以后，它的温度才会开始上升。



潜热

-

布莱克认为，能够用手触摸——也能用温度计测量——的热叫“显热”，而冰融化所需的额外热量则是“潜热”，意思是“隐藏的热”。

为了验证这个理论，他又取了两个烧瓶，在烧瓶C中装满水，烧瓶D则装入水和酒精的混合溶液。布莱克在两个烧瓶里各放了一支温度计，然后在一个寒冷的晚上把它们放到了室外。两个烧瓶内的液体温度最终都下降到了32°F。

不过，烧瓶C里的温度计下降到32°F以后就再也不动了，温度计周围的水开始结冰；而烧瓶D里的温度还在继续下降，因为酒精溶液的凝固点比水更低。

沸腾的水

-

然后，布莱克以同样的方式研究了沸腾的水——如果手边有合适的温度计，你也可以自己试试。这个实验需要的量程大约是65～220℉（约18～104℃）。

将温度计放在装水的锅里，然后把锅放到炉子上加热。水的温度会逐渐上升到212℉（100℃），然后开始沸腾；在水沸腾的过程中，它的温度不会继续上升。换个火力更大的炉子，水会沸腾得更快，但温度还是保持不变。

让水沸腾需要外界的热量，热会赋予每个水分子足够的能量，让它摆脱液态的束缚，蒸发成气态。这部分热依然是潜热——蒸发所需的潜热。

詹姆斯·瓦特和他的分离式冷凝器

-

几乎可以肯定，布莱克发现的潜热启发了他的朋友詹姆斯·瓦特。1765年，瓦特发明了分离式冷凝器，由此大幅提高了蒸汽机的效率。

1766年，布莱克来到爱丁堡大学，这里的很多学生是当地酿酒商的儿子。好奇的学生纷纷询问布莱克，为什么蒸馏工艺需要消耗那么多燃料，导致威士忌的价格居高不下？布莱克的回答非常简单：因为潜热。将液体蒸发为气体需要消耗大量能量，蒸汽冷凝后才能分馏出威士忌。

3．更广阔的领域：1761—1850

18世纪的科学面临着来自各个领域的挑战。牛顿时代的人们一定会觉得测量地球重量完全是个不可能的任务，但是到了18世纪，这个问题竟有了两种可能的解答。最终，一位不太情愿的天文学家和一位孤僻的天才分别测出了地球的重量。

电池的发明改变了科学和世界的面貌，几门新的学科就此萌芽，我们今天使用的各种电子设备也离不开电池。耐心的酿酒师詹姆斯·焦耳苦心钻研多年，终于找到了热与力之间的关系，但其他科学家却对此心存怀疑。

除此以外，人们仍为光的特性和行为争执不休。电磁现象被发现以后，迈克尔·法拉第和其他科学家进行了深入的研究，在前人的基础之上，他们造出了电动机、变压器、电磁铁和发电机。

1774

研究人员：

内维尔·马斯基林

研究领域：

引力

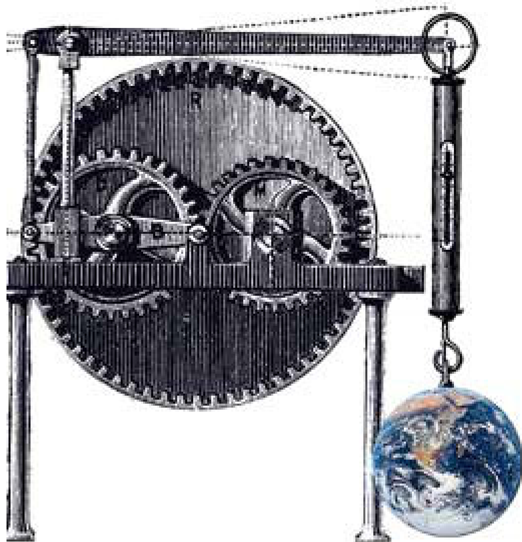
结论：

地球内部不是空的，而是有一个金属质地的核

你能称出这个世界的质量吗？

利用山峰完成测量的壮举

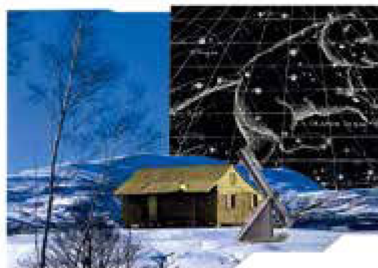
牛顿在1687年出版的巨著《原理》中曾经提到，单摆（系在绳子上的配重块）总会垂直指向地心，不过要是附近有山，那么山峰质量产生的引力会让单摆产生微微的倾斜。牛顿认为“山的引力”确实存在，但实际上，它的效果非常微弱，完全无法测量。



测量山的引力

-

八年后，皇家天文学家内维尔·马斯基林意识到，如果能够测量山的引力效应，那么或许可以利用这种方法算出地球的质量。在山峰附近悬挂一个单摆，测出单摆倾斜的角度，再估算一下山峰的质量，就能算出地球的质量。这个数值非常重要，因为知道了地球的质量，就能进一步推算出月球、太阳和其他行星的质量。1772年，马斯基林向皇家学会提交了建议，皇家学会批准了他的提案，并派遣测量师查尔斯·曼森骑马周游苏格兰，寻找合适的山峰。经过一个漫长的夏天，曼森终于回到伦敦，他找到的最佳山峰是珀斯以北45英里（约72千米）处的榭赫伦山。



谁来做实验？

-

曼森拒绝承担实地实验的任务，马斯基林也表示自己很忙，而且不管怎么说，他还有个皇家天文学家的头衔——这意味着要他去做这个实验，首先必须得到国王的批准。不幸的是，国王非常支持这件事，所以他欣然批准了皇家学会的申请。马斯基林不情不愿地离开了格林尼治那间舒适的宿舍，乘船前往北方的珀斯。到达港口后，他骑上驮马，直奔高地。

山中岁月

-

榭赫伦山长而狭窄，大致呈东西走向，山顶海拔3543英尺（约1080米）。马斯基林在南麓的半山腰里扎下营来，他有一间茅舍、一顶帐篷、一座精确的摆钟，还有从皇家学会借来的长达10英尺（约3米）的望远镜。马斯基林计划借助头顶的星星找到自己的准确位置，然后通过单摆来确定“垂线”。不幸的是，山里的雨雾缭绕了足足两个月，他完全无法进行任何观测，然后又过了一个月，他才终于算出了自己的确切方位。

然后，马斯基林设法绕到榭赫伦山的北麓——这花费了他整整一周时间——再次进行位置测量。与此同时，另一组测量师带着简陋的

帐篷、铁链（用来测量长度）、气压计（测量高度）、经纬仪（测量角度）和其他设备绕着山峰转了一整圈。他们记录了不同地点的数千个角度和高度，并利用这些数据算出了马斯基林两个营地之间的距离。

矛盾的数据

-

利用单摆和头顶的星星，马斯基林算出了两个营地的确切位置和二者之间的距离。他算出的数字和测量师得出的结果之间有1430英尺（约436米）的误差，因为山峰本身有引力，所以单摆的垂线并不是完全垂直的。

两个数据之间的误差比他预计的要小，这意味着地球的平均密度远大于榭赫伦山。以前曾有人提出，地球是个空心的球体，就像网球一样；现在这套理论不攻自破。马斯基林表示，恰恰相反，地球一定拥有一个金属质地的地核。

接下来，马斯基林只需要测出山峰的质量，就能算出地球的质量。他可以大致估计山峰的密度——单位体积的质量，但要得出最后的结果，他还得测量山峰的体积。

计算体积

-

为了完成这个任务，马斯基林请求一位数学家朋友提供帮助。查尔斯·赫顿意识到，他可以利用测量师记录的高度数据来计算山峰的三维立体形状。赫顿在一份报告中提到，他用铅笔把所有高度相等的点连了起来，于是山峰的形状立即跃然纸上。换句话说，他发明了等高线。

知道了山峰的体积，马斯基林和赫顿成功地算出了榭赫伦山的质量，并由此推算出，地球的质量大约是5×10^{21}吨。17世纪牛顿曾经估计过，地球的质量是6×10^{21}吨，最后我们发现，居然是牛顿的数值更接近真相。

无论如何，马斯基林的壮举是人类测量地球质量的第一次尝试。

1798

研究人员：

亨利·卡文迪许

研究领域：

地球科学

结论：

地球的质量是6×10^{21}吨

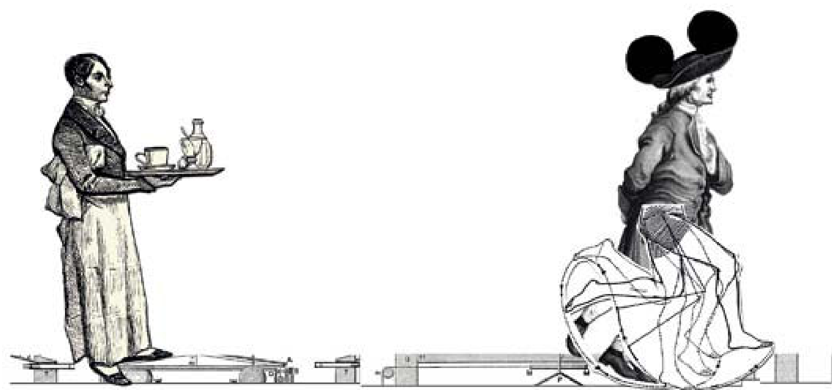
你能（不借助山峰）称出这个世界的质量吗？

另一种测量地球质量的方法

约翰·米切尔原本是剑桥大学的地质学教授，负责讲授算术、几何、神学、哲学、希伯来语和希腊语，不过37岁的时候，他离开剑桥前往约克郡的桑希尔，成了圣米迦勒与诸天使教堂的院长。米切尔可能是想为自己的科研工作争取更多的时间和金钱，所以才接下了这份报酬颇为优厚的工作。1784年，他在一封写给皇家学会的信里首次提出了黑洞的设想。他还设计制造了一台测量地球质量的设备，但从未真正亲自动手测过。1793年，米切尔去世了。在此之前，他把这台设备留给了他的朋友亨利·卡文迪许。

亨利·卡文迪许的性格颇为怪异，如果他生在今天，我们或许会说他有点自闭。卡文迪许的祖父和外祖父都是公爵，家资颇丰，他甚至在英国伦敦克拉珀姆公地的家里建造了自己的实验室。据说卡文迪许是有史以来最富裕的学者，当然，他或许也是富人中最有学问的那一

个。



沉默的天才

-

卡文迪许总是穿着一件皱巴巴的紫色外套，戴着黑色的三角帽。他特别害羞，不愿意跟人打交道。每次不得不开口说话的时候，他的语气总是有些迟疑，音调也高得吓人，所以他很少说话。一位同行曾经评价说，卡文迪许一辈子说的话可能比特拉普会的修士还少，众所周知，这个教派以沉默寡言闻名。参加皇家学会会议的时候，他也总是一言不发。

1766年，卡文迪许成功分离了氢气——这是人类有史以来得到的第二种纯净气体——他发现这种气体轻而易燃，与空气混合后会发生爆炸。氢气爆炸的唯一产物是水，卡文迪许由此推断，水的化学式应该是H_2O。他把这个结果告诉了詹姆斯·瓦特。1783年，瓦特发表了这项成果。

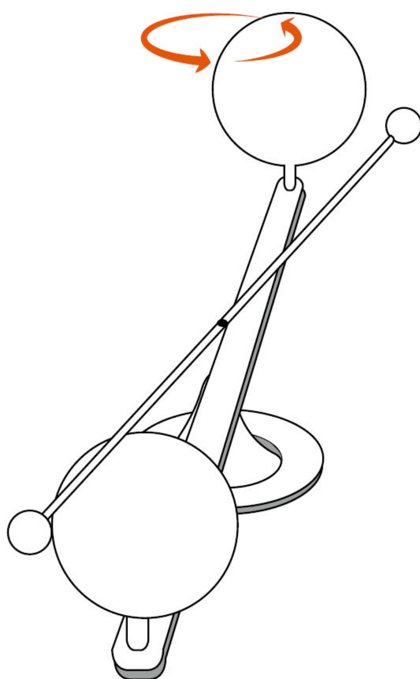
称量世界

-

卡文迪许装好了米切尔的设备，准备测量地球的质量，验证20年前马斯基林测得的结果。实际上，卡文迪许的实验比马斯基林的更加简单精确，他用铅球取代了山作为引力的来源。

卡文迪许用一根很长的细绳将6英尺（约1.8米）长的木杆水平悬挂起来，木杆两头各有一个直径5厘米、重1.61磅（约0.73千克）的铅球。每个铅球的逆时针方向（见下页图）9英寸（约23厘米）处又各放置了一个直径12英寸（约30厘米）、重350磅（约159千克）的大铅球。

大球对小球的引力会让小球发生偏转，于是木杆也会随之旋转；当细绳产生的扭力正好等于小球受到的引力时，木杆将保持平衡。卡文迪许知道小球的重量——也就是地球对小球的引力。如果能够测量大球对小球的引力，那么就能算出地球的质量与大球质量的比值。



卡文迪许实验

灵敏的设备

-

整套设备需要静置几个小时才能稳定下来，这个实验非常精密，气温的细微变化和微弱的气流都可能影响结果。所以卡文迪许把实验设备安装在专门的房间里，通过外部的控制设施进行调整，然后利用望远镜透过窗户观察结果。

小球稳定下来以后，卡文迪许记录下它们的位置，然后将大球移动到小球的另一侧，于是小球开始朝反方向旋转。小球再次稳定下来以后，卡文迪许发现，它们只移动了0.16英寸（约4.1毫米）。测量结果非常精确，足以让卡文迪许算出大球的引力。

实际上，大球的引力很小——大约只有15毫微克，相当于一小粒沙子的质量——但这已经够了。卡文迪许细心地排除了任何可能的误差，由此算出地球的平均密度大约是水的5.4倍，他得到的地球质量和我们今天公认的结果（5.97×10^{24}千克）非常接近。

现在，物理系的学生经常会做这个实验，虽然最初的想法和设备都来自约翰·米切尔，但人们仍将它命名为“卡文迪许实验”，因为是他首次实施了这个实验。

1799

研究人员：

亚历山德罗·伏特

研究领域：

电学

结论：

由此诞生了几个新的科学分支

电池是如何发明的？

制造第一个电池

古人对静电并不陌生——实际上，“电子”这个词在希腊语中的意思是“琥珀”，因为古希腊人知道，用布摩擦琥珀就能产生静电。

本杰明·富兰克林将风筝送入雷雨云，由此证明了闪电也是电的一种形式，不过直到现在，人类还是没有成功驯服闪电。要想研究“电流”的性质，科学家必须设法制造出持续的小剂量电流。

动物电

-

1780年，意大利科学家路易吉·伽伐尼在博洛尼亚大学完成了第一步，他提出，动物是由电驱动的。伽伐尼无意中发现，解剖台上的青蛙腿抽搐了一下，当时附近正好有一台静电发电机。伽伐尼打算把

青蛙挂在铜钩上晾干，结果铜钩正好碰到了一块铁，两种金属接触的瞬间，青蛙腿再次抽搐起来。于是伽伐尼大胆猜测，青蛙的身体会产生电，虽然它很久以前就已经死了。时任帕维亚大学自然哲学（物理）教授的亚历山德罗·伏特对抽搐的青蛙腿很感兴趣，但他并不相信动物会产生电流。伏特认为，电实际上是两种金属接触产生的。从1793年到1794年，伏特发表了几篇论文来阐述自己的想法，并开始进行下一步的研究。



不同的金属

-

伏特将一片锌和一片银（例如硬币）放在一起，然后用舌头轻轻舔了舔。与两种金属接触的瞬间，他感觉舌尖微微有些刺痛。为了获得更强的效果，伏特想出了个聪明的主意：他制造了许多个这样的“金属三明治”，然后把它们叠到了一起。

不过，锌—银—锌—银的组合无法达到理想的效果，因为每组金属产生的电很快就会被下一组反向叠放的金属抵消，所以伏特需要用能够导电的非金属介质把这些金属片两两隔开，换句话说，他需要的是某种非金属导体。伏特选择了泡过盐水的纸板。所以，“三明治”的结构变成了锌—银—纸板—锌—银—纸板—锌，如此排列下去。他称

之为“伏特堆”，又叫“电池”。

伏特制造的原始电池相当粗糙，它产生的电压或许只有几伏，不过足以让他感受到电击的力量。伏特用导线把电池两头连接起来的时候，导线的接头也冒出了火花。

1799年，伏特就捣鼓出了电池的雏形，后来他曾为拿破仑做过演示，法国皇帝深受震撼。不过更重要的是，1800年3月20日，伏特写了一封长信给英国皇家学会的会长约瑟夫·班克斯爵士，详细介绍了自己的实验。6月26日，班克斯在皇家学会大声朗读了这封法语信的英文译本：

> “我把几十个小圆片叠了起来……银片的直径大约是1英寸（约2.54厘米）锌片的大小和它差不多，数量也完全相同。我还准备了一些……圆形的纸板……它们可以吸收并储存大量……盐水。”

电击之痛

-

伏特在信中写道，可以用一根粗导线将电池组与一碗水连起来。“现在，如果把一只手浸到碗里，再用金属片轻轻触碰金属堆的另一头，浸在水里的那只手就会感觉到明显的电击和刺痛，直达手腕，有时候刺痛甚至会传播到手肘的高度……”

他还说：“如果在这套装置的两头分别接上一根探针，然后把两根探针放进耳朵里，那么你的听力就会大受影响。”

现在回头去看，伏打所做的不过是电了自己几下，制造了一点点火花，似乎完全不足为奇。但好戏这才刚刚开始。班克斯读过这封信以后，其他科学家立即开始动手制造电池，他们制造的电池产生了持续的电流，这是破天荒第一次。

有了这样的电池，科学家就能深入研究各种材料的性质，寻找导体和绝缘体。除此以外，他们还能探查电流本身的性质，研究电势（它的单位是“伏”，也就是“伏特”的简称）、电流（安培）、电阻（欧姆）和其他相关知识。

化学里的电

-

汉弗里·戴维在伦敦的皇家研究所制作了一个巨大的电池，并用它做了一些令人叹为观止的化学实验。戴维推测，不同的金属接触后一定会发生某种化学反应，因此产生了电流。所以他觉得可以用电流来诱发化学反应，根据这个思路，戴维首次分离出了金属钠和钾。

今天我们使用的大部分物品似乎都离不开电。伏特的实验或许是科学史上最为重大的发现。

1803

研究人员：

托马斯·杨

研究领域：

光学

结论：

光以波的形式传播——果真如此吗？

光会互相干涉吗？

杨氏双缝实验

艾萨克·牛顿在1672年那篇著名的论文和1704年的著作《光学》中都曾提到过光“线”，不过总体而言，他认为光是由粒子组成的。但荷兰博学家克里斯蒂安·惠更斯不同意牛顿的观点，他认为光是由波组成的。一百多年来，两人的争议一直没能得出一个确定的结果。

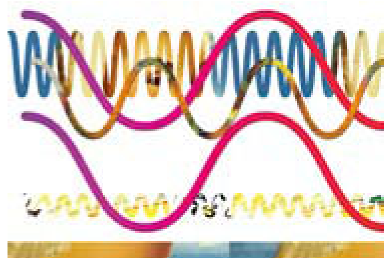
粒子还是波？

-

另一位博学家托马斯·杨在许多领域做出了杰出的贡献，19世纪初，他发表了一系列论文，阐述了光的折射。杨认为光以波的形式传播，他的实验结果验证了这一理论。杨知道，两个有细微差别的音节同时奏响，你就能听见明显的节拍，因为声波会产生干涉。于是他推

测，如果光真的是一种波，那么两道光波也应该会互相干涉。

和牛顿一样，杨也在窗户的遮光板上戳了个小洞，然后用一片黑纸把它盖了起来，又用针在黑纸上扎了一个孔。接下来他利用一面镜子，把透过小孔的阳光反射到对面的墙壁上：



> “我用一片宽约1/13英寸（约2毫米）的纸板挡住了那束光，观察它在墙上和离墙距离不等的其他纸板上投下的影子。影子两侧边缘都有彩色的光晕，除此以外，影子中央也出现了平行的色带。”

类似的实验有很多，其中最著名的是“双缝实验”：光透过纸板上的两条狭缝投射到屏幕上，会产生明暗相间的图样。它更广为人知的名字是“杨氏实验”，虽然没有任何证据表明杨曾经做过这个实验。

干涉图样

-

如果光真的是由粒子组成，那么透过两条狭缝的光束只会在屏幕上投下两条明亮的线，但实际上，它却形成了明暗相间的图样。

每道狭缝相当于一个独立的光源，它们各自发射出一道光波。来自狭缝A的波峰与来自狭缝B的波峰重叠时，屏幕上就出现了明亮的条纹；而两道光波的波峰和波谷互相抵消，就会形成暗淡的条纹。

我们实际观察到的结果是，屏幕上出现了明暗相间的条纹，它唯一可能的来源是光的折射和干涉，所以光必然是以波的形式传播的。虽然杨的实验十分缜密，推理过程也相当严谨，但仍有很多科学家拒绝接受他的说法，因为伟大的艾萨克·牛顿怎么可能犯错呢？直到50年后，人们发现光在水中的传播速度比在空气中慢得多，杨的理论才终于得到了认可。

屏幕上两道相邻明亮条纹之间的距离是光波长的函数，也就是说，不同颜色的光会产生宽度不等的条纹。



粒子图样



波图样

现在物理学家普遍认为，光以“波包”的形式传播，也就是光子。杨并不知道，真正令人震惊的是极低照度的光表现出的某种特性：如果光源每次释放的光子只有一个，那么它可以同时穿过两道狭缝。

要是单个光子只能穿过一道狭缝，那么它应该直接投射到屏幕上的某个点，不会产生任何干涉。那么我们把屏幕换成光敏摄像机，然后让单个光子逐一通过狭缝，胶片上最终应该出现离散的光子组成的点状图样。



但事实并非如此。我们发现，胶片上留下的仍是明暗相间的条

纹。于是我们就这样跨入了量子力学的诡异领域。根据量子力学，单个光子不一定只能出现在一个地方。比如说，它有30%的概率穿过狭缝A，70%的概率穿过狭缝B，那么量子力学会告诉你，它可能同时穿过两道狭缝，与自己发生干涉。

既是波又是粒子

-

换句话说，光子同时表现出了粒子和波的特性，我们称之为光的波粒二相性。归根结底，那些相信粒子说的人也不算大错特错。

1961年，科学家发现电子也有同样的特性。电子肯定是某种粒子，因为它拥有质量，但与此同时，电子也表现出了波的一些性质。1974年，研究者通过实验证明，单个电子也会形成干涉图样。

理查德·费曼评论说：

> “经典物理……完全无法解释这种现象，它属于量子力学的领域。”

1820

研究人员：

汉斯·克里斯蒂安·奥斯特

迈克尔·法拉第

研究领域：

电磁学

结论：

电和磁可以相互作用

磁能产生电吗？

发现电磁现象

电池已经诞生了20年，很多科学家用它来做实验，但谁也没有系统地研究过电流和磁场之间的关系。

1820年4月21日，哥本哈根大学的物理教授汉斯·克里斯蒂安·奥斯特正在准备给学生上课，合上电池开关接通电流的时候，他发现桌上的罗盘指针轻轻动了一下。然后奥斯特断开电流，罗盘指针又动了一下。

这个发现并非完全出于偶然，因为当时他正在研究电和磁之间的关系。经过仔细探查，奥斯特发现，导线中的电流会在周围产生一圈磁场，就像套在手臂外面的袖子一样。三个月后，他把自己的成果发

表在了一本私下流传的小册子上。

巴黎

-

法国科学院的弗朗索瓦·阿拉戈和安德烈·玛丽·安培听说了奥斯特的工作，于是他们立即行动起来。安培发现，如果两条平行导线中的电流朝相同的方向流动，那么这两条导线会互相排斥；而若是电流方向相反，它们就会互相吸引。他建立了一套数学理论来解释这个现象，根据安培定律，这两条导线之间的力与电流强度成正比。

伦敦

-

奥斯特的发现也传到了伦敦的皇家研究所，汉弗里·戴维和威廉·海德·沃勒斯顿试图利用这一原理制造电动机，但没有成功。当时戴维的助手是迈克尔·法拉第。听到戴维和沃勒斯顿讨论电动机的事情以后，法拉第也开始思考电和磁之间的关系。

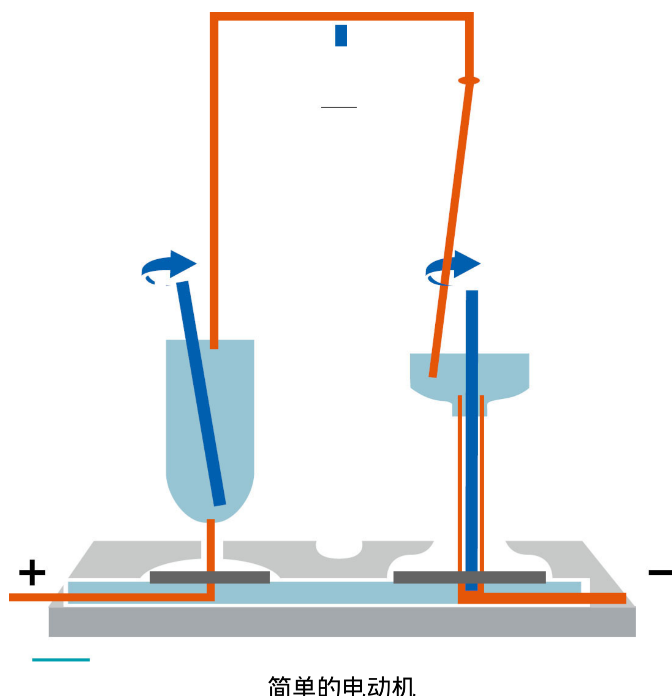
1821年9月初，法拉第做了一系列实验，研究通电导线附近的罗盘指针受到的引力和斥力。根据自己的观察结果，他画了一些示意图。在最后一张示意图中，他画了一根导线绕着罗盘指针——或者说磁铁——旋转。根据这幅图，法拉第制造了一个玩具电动机。

第一台电动机

-

最早的电动机结构相当简单。它的主体是两个盛放水银的玻璃杯，左侧的杯子上方悬挂着一根固定的铜棒，铜棒末端刚好浸入液面以下，玻璃杯底还放着一根磁棒，它可以绕铜棒旋转；右侧杯子里的

导线可以活动，磁棒则固定在玻璃杯里的水银中间。通电以后，电流产生的磁场与磁棒的磁场方向相反，于是左侧杯子里的磁棒会围绕铜棒旋转，而右边杯子里的导线则围绕磁棒旋转。



简单的电动机

电动机的成功让法拉第兴奋不已，这是他的第一个重大发现。激动之下，他没有知会戴维和沃勒斯顿，直接就把这个结果发表出去。沃勒斯顿大发雷霆，他指责法拉第剽窃了自己的创意，双方因此陷入了旷日持久的争执。

1829年，戴维去世以后，法拉第终于可以自由地继续研究电和磁了，很快他就发现了另一件事情，这或许也是他一生中最重要的发现：磁铁可以诱使线圈产生电流，这就是电磁感应现象。法拉第把两组独立的线圈绕在同一个铁环上，给其中一个线圈通电的时候，另一个线圈中也会产生瞬时的感应电流。法拉第还发现，磁铁穿过线圈时会产生电流，线圈在静止的磁铁旁移动也同样能产生电流。这些实验

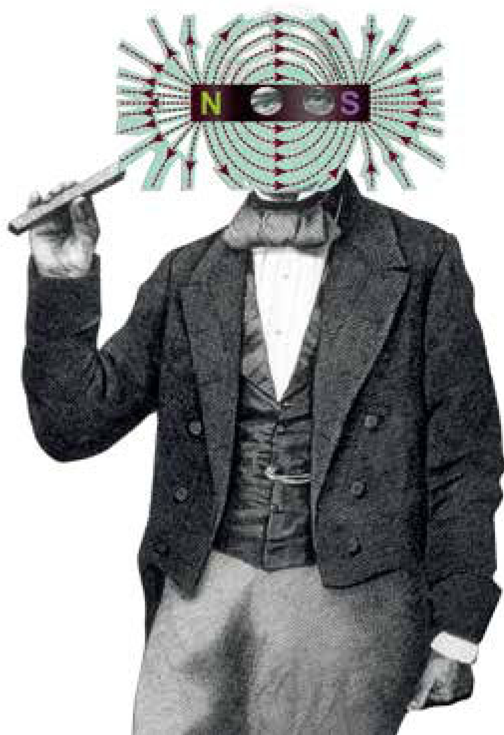
表明，磁场的变化会产生电流，换句话说，机械能可以转化为电能。法拉第的发现最终让我们造出了变压器和发电机。

场线

-

法拉第几乎没有上过学，也没有接受过任何数学训练，但是，他用场线描绘了电磁场的形状。法拉第把一张纸放在磁铁的两极上方，然后在纸上撒了一些铁屑，在磁场的吸引下，铁屑形成了一道道规律的弧线，这就是磁场在空间中的形状。

1845年，法拉第通过实验证明，强磁场能够扭转偏振光的传播平面，后来他还发现了抗磁性现象，即某些物质会对磁场产生微弱的斥力。



1842

研究人员：

克里斯蒂安·安德烈亚斯·多普勒

研究领域：

声学

结论：

声波可以压缩或拉伸，具体取决于观测者与声源之间的相对运动

声音能拉伸吗？

运动如何改变声调

1842年，38岁的多普勒发表了他一生中最重要的论文——《论天体中双星和其他一些星体的彩色光》。这篇论文的原稿是用德语写的。在这篇论文中，多普勒提出，光以波的形式传播，光的颜色取决于波的频率。

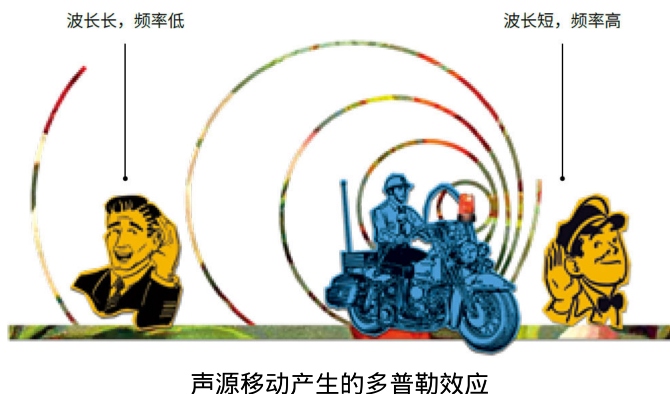
他还表示，如果光源和观察者发生了相对运动，那么波的频率也会随之变化。多普勒举例说，如果一艘船在波涛汹涌的水面上行驶，那么它顺风航行的速度肯定远远大于逆风航行的速度。在这种情况下，船的运动速度会影响它遇到波浪的频率，航行的速度越快，单位时间内遇到的波浪就越多。于是多普勒总结说，声波和光波也会出现类似的现象。

多普勒效应

-

如果一台应急车辆——救护车、警车或者消防车——正朝你开过来，你会听见它的警笛声变得越来越响，不过请注意听警笛的音高，或者说声调。当它向你靠近的时候，警笛的声调会变得越来越高亢，而当它从你身边经过以后，声调又会逐渐降低，最后消失不见。

之所以会出现这样的现象，是因为应急车向你飞驰而来的时候，声波遭到了压缩。警笛发出的每个相邻波峰之间的距离都会压缩一点点，所以波峰之间的距离比车辆静止时更短。波峰全都挤到了一块儿，声音就会变得尖厉而高亢。而当车辆远离你的时候，每个相邻波峰之间的距离都会拉伸一点，于是声波被拉长了，频率自然也就随之降低。



声源移动产生的多普勒效应

以此类推，鸭子和天鹅在水面上游过时，其前方的涟漪会挤到一起，而身后的则会散开。

双星

-

在1842年的那篇论文中，多普勒提出，恒星发出的自然光是白色或暗黄色的。但是，如果某颗恒星正在向我们靠近，那么它发出的光

会比正常情况下更加偏蓝；而若是某颗星星正在远离我们，那么它的光看起来就会偏红。

两颗距离很近的恒星会组成双星系统，而且双星通常会以很快的速度围绕对方旋转。天鹅座β就是一个著名的双星系统，其中较大的那颗恒星偏红，较小的恒星呈现出明显的蓝色。多普勒推测，较大的恒星正在靠近我们，而较小的恒星正在远离我们。

他总结说，如果两颗恒星的亮度相仿，那么它们的颜色也会互补，但如果二者亮度差别较大，那么明亮的那颗星星质量更大，所以另一颗星星会围绕它旋转。在天鹅座β的双星系统中，较大的恒星只是微微有些偏红，但另一颗却非常蓝，这说明做旋转运动的主要是蓝色的那颗星星，红星几乎保持静止。

多普勒还举了周期性变星的例子。这种星星大部分时间根本观察不到，但它们会突然出现在天空中，看起来是红色的。多普勒说，变星大部分时间释放的是看不见的红外线——所以我们观察不到它们——但实际上，这些星星都是双星系统，它们绕着看不见的伙伴旋转。运行到轨道上的某个位置时，它们的速度变得很快，导致释放的射线向光谱的红色端移动，于是我们就看见了红色的星星。

今天，天文学家利用多普勒效应来测量恒星与星系相对于地球的运动速率。正在靠近我们的星星看起来更蓝，这就是所谓的“蓝移”，而远离我们的星星则会出现红移。1929年，爱德文·哈勃利用多普勒效应——星系的红移——证明了宇宙在不断地膨胀。

1848年，希波莱特·斐索发现，多普勒效应同样适用于电磁波，所以在法国，人们有时候也会把这种效应称为“多普勒-斐索效应”。

多普勒效应的实际应用

警察利用雷达测速仪来监测驾驶员是否超速。测速仪发出的雷达波会被车辆反弹回来，根据发射波与回波之间的频率差，测速仪——也就是监测者——可以算出车辆的行驶速度。

医生也会用类似的设备检测血流，比如说，利用超声波检查颈部动脉。只要把设备以特定的角度放在病人的脖子上，仪器就能测出动脉内部的血液流动的速度。

我们还可以利用激光多普勒测振仪来测量振动。用激光照射待测物体的表面，通过反射回来的光线，仪器就能测出振动的各种参数。

1843

研究人员：

詹姆斯·普雷斯科特·焦耳

研究领域：

热力学

结论：

水需要很多能量才能产生一点点热量

让水变热需要多少能量？

热的特性

早在1798年，好奇的美国间谍伦福德伯爵就曾探索过热的本质。伦福德在巴伐利亚做了一个实验，他用一个特别钝的钻头给炮筒钻孔，结果产生了大量的热。伦福德表示，这些热完全是由摩擦产生的，它一定与铁粒子的某种运动有关。

不幸的是，当时的主流观点认为热是一种流体：如果你把热的物体和冷的物体放在一起，那么一部分“热流”会渗进冷的物体里，让它变得暖和起来。法国科学家拉瓦锡将这种流体命名为“热质”，他还表示，热质既不能被创造，也不能被销毁。

蒸汽还是电？

詹姆斯·普雷斯科特·焦耳出生于英格兰北部的索尔福德，他的父亲是一位酿酒师。焦耳继承了父亲的事业，不过他对电很感兴趣，所以他经常在家里做各种各样的电学实验。焦耳想弄清楚新出现的电动机能否取代酿酒厂里的蒸汽机，1841年，他发现“载流导体产生的热与电流强度的平方和导体电阻的乘积成正比”，或者简单地表达为“热量与（电流）$^2\times$电阻成正比”。这就是著名的焦耳定律。

焦耳研究了蒸汽机，然后他计算得出，当时最好的康沃尔蒸汽机对外输出的能量还不到它产生的热量的十分之一，也就是说，“这种蒸汽机的效率低于10%——简直还不如马”，焦耳总结道。

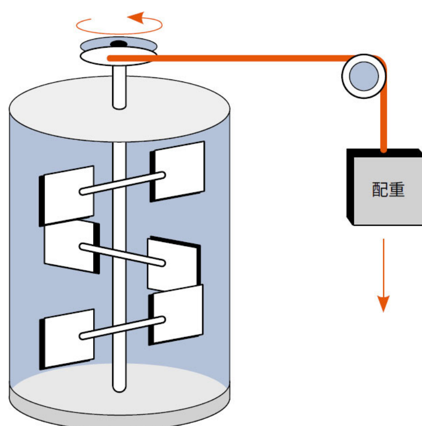
焦耳还发现，在一些电学实验中，电路的某些部位会发热。根据热质理论，这些热一定来自电路的其他部位，因为热质不会凭空产生或消失——可是仔细检查了所有设备以后，焦耳发现，电路里并没有哪个地方变冷了，这些热只能来自电流本身。

此外，如果你紧紧地握住一根绳子，然后快速地把它抽出来，你的掌心一定会火辣辣地发烫。手掌与绳子之间没有任何流体——它们只是发生了相对运动。焦耳决定深入探索各种形式的运动到底能产生多少热量。

桨轮

-

焦耳在水罐里装了一套桨轮，然后在桨轮的轴上绕了几圈绳子，利用外部的配重块拉动绳子，带动桨轮旋转。他知道配重块下降时做了多少功，然后又测量了罐子里的水每分钟的温度变化。水的升温速度很慢，所以焦耳不得不反复测量，才能得到有用的数据。



焦耳的桨轮实验

在一次实验中，他设计的配重块行程长达11米。焦耳反复把它拉起来又放下去，重复了整整144次——但罐子里的水温只升高了区区几度。

焦耳尝试过用电来加热水，他还曾迫使水穿过狭窄的管道，测试它的温度是否会因此而升高。有传说称，焦耳在法国南部度蜜月时也总是想着做实验，他甚至试图测试萨朗什瀑布顶部和底部的温差。不幸的是，瀑布对水温的影响微乎其微，就连尼亚加拉瀑布顶部和底部的温差也只有大约1/5摄氏度。

焦耳总共尝试过用五种方式来加热水，最终他得出结论：平均而言，要让0.25磅（约0.11千克）的水升温1华氏度（0.56摄氏度），你需要让800磅（约363千克）的配重块下降1英尺（约30厘米）。

冷遇与否认

-

1843年，焦耳在英国科学促进会的一次会议上宣布了自己的结论，但迎接他的却是岩石般的沉默。焦耳的理论颇具争议性，没有哪家主流期刊愿意发表他的研究成果。

迈克尔·法拉第对焦耳的理论倒是有些兴趣，他“深受震撼”，不过依然将信将疑。威廉·汤姆森（即后来的开尔文男爵）也心存怀疑，不过后来焦耳在度蜜月时又和他见了一面，从那以后，汤姆森开始逐渐接受焦耳的理论。从1852年到1856年，两人频繁通信，后来，他们共同发现了焦耳-汤姆森效应：气体在压力作用下通过阀门后温度会下降。今天所有的冰箱、空调和热泵都是利用这一原理制造出来的。



焦耳的理论逐渐得到了广泛的认可，国际能量单位“焦耳”就来自他的名字。现在我们知道，4.2焦耳的机械功等于1卡路里热量。

有趣的是，焦耳还曾说过：“物质中蕴含的能量来自上帝的恩赐，所以人类当然无法创造或毁灭它。”换句话说，出于某些很不科学的原因，詹姆斯·普雷斯科特·焦耳首次提出了能量守恒的概念。

1850

研究人员：

阿曼德·希波莱特·路易斯·斐索

让·伯纳德·莱昂·傅科

研究领域：

光学

结论：

光的确是以波的形式传播的

光在水里会变快吗？

反射与折射

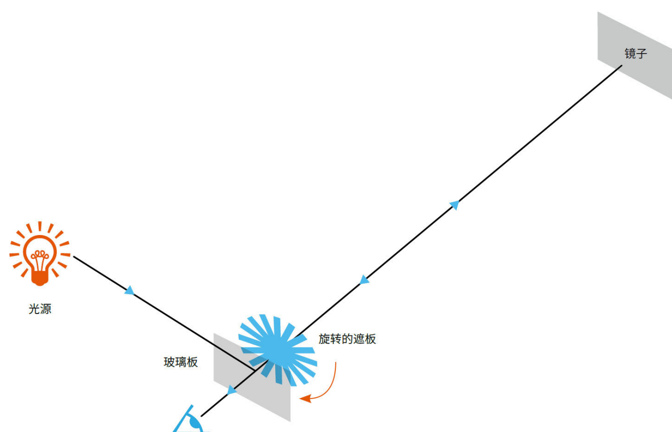
1676年，奥勒·罗默就曾测量过光速；1729年，詹姆斯·布拉德雷又利用“光行差”的天文学方法重新测量了光速。

1819年9月，希波莱特·斐索和他的朋友莱昂·傅科先后在法国巴黎出生，他们的生日相隔只有五天。少年时他们俩都是医学生，后来又一起参加了摄影术先驱路易·雅克·达盖尔开设的摄影课程。斐索和傅科共同改进了摄影的流程，不过后来又有其他实验者发明了更好的方法。

测量地球上的光速

-

斐索在医学院里得了偏头痛，所以他转而改学了物理。1849年7月，斐索在巴黎的父母家里设计了一个巧妙的实验来直接测量光速。他制作了一个带有100个齿的圆形遮板，用一束光透过轮齿之间的空缺照射5英里（约8千米）外的一面镜子，光会被镜子反射回来，往返路程长达10英里。然后斐索转动齿轮遮板，当它的转速达到一定值的时候，反射回来的光会直接投射到遮板后面。这意味着入射光和反射光分别穿过了遮板上两道相邻的空缺。



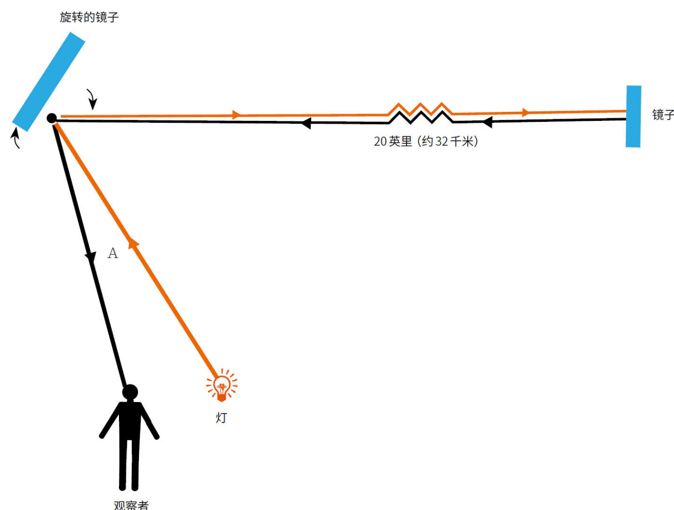
1849年的斐索实验

问题在于，光传播10英里（约16千米）只需要大约0.05秒，或者说50毫秒，所以遮板上的空缺需要排得很紧，而且遮板必须转得很快。无论如何，1849年，斐索成功计算出光的传播速度是194700英里/秒（约313000千米/秒），比我们今天的准确值高了大约5%。

与此同时，莱昂·傅科也放弃了医学课程，因为和年轻的查尔斯·达尔文一样，他发现自己晕血。1850年，傅科和斐索一起参军入伍，很快他们又设计了一套更巧妙的系统来测量光速。在这个实验中，光单程传播的距离长达20英里（约32千米），不过这次他们把静止的反射镜换成了一面高速旋转的镜子。

光传过40英里（约64千米）的距离被反射回来以后，由于镜子已

经旋转了一定的角度，所以入射光和反射光之间会产生微小的偏离角，即示意图中的A角。镜子的旋转速度已知，代入测得的偏离角A，就能算出光速。他们最后得出的结果是185000英里/秒（298000千米/秒），与今天公认的光速值相差在1%以内。



1850年的斐索和傅科实验

水中的光速

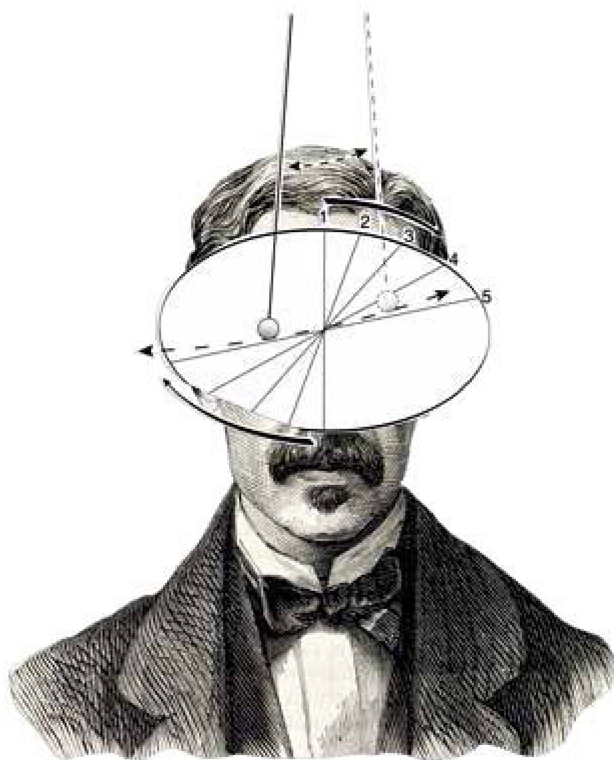
-

后来，傅科又改进了实验，他在光的路径上插入一根装满水的管子，结果发现，光返回花费的时间变长了。

牛顿曾经预测说，光在水中的传播速度应该比在空气中更快，因为稠密的介质会拉动光粒子，加快它的移动速度。但实际上，通过实验我们发现，水中的光速比空气中的光速要慢25%左右——只有140000英里（约225000千米）/秒。人们说，这个观测结果“敲下了粒子说的最后一根棺材钉”——托马斯·杨的理论终于得到了证实。

标准长度

1864年，斐索提出："我们应该利用光波的长度来确定标准的长度单位。"现在我们将真空光速定义为299792458米/秒，所以"米"被定义为光在真空中花费1/299792458秒经过的距离。实际上我们可以粗略地认为，光1毫微秒（十亿分之一秒）能传播0.3米，而声音传播1英尺需要花费大约1毫秒——比光慢了100万倍。



不过，光在水里的传播速度比在空气中慢得多，声音却恰恰相反。

傅科摆

1851年2月3日，傅科首次通过直观的方式证明了地球的自转。他用一根很长的链子将一个重摆悬挂在巴黎天文台里，然后邀请本地的所有科学家前来观看。后来，傅科又把重摆挂到了巴黎先贤祠的房顶上。我们站在地球上观察，会发现振荡的单摆在不停地旋转，但实际上，它的振荡平面相对于恒星却是固定的。这意味着地球在不停地自转，所以我们才会看到单摆的振荡平面出现旋转，这种单摆也可以用来计时。傅科摆看起来非常奇妙，十分适合向公众展示，所以美国和欧洲的许多大城市都装有傅科摆。

4．光、射线和原子：1851—1914

物理学和技术常常密不可分。新理论会创造出新技术，而新的技术又为物理学家提供了新的实验途径和研究方法。17世纪，托里拆利发现的真空让人们发明了真空泵；利用真空泵，波义耳和其他科学家开始研究真空——或者说至少是极低气压——的性质。

1865年，赫尔曼·斯普伦格尔发明了水银泵，它的效果超越了以前所有的同类设备。利用水银泵，科学家得到了近乎完美的真空，于是威廉·克鲁克斯等人开始研究带电粒子在真空中的运动，最终他们发现了阴极射线、X射线和电子。

X射线的发现又点燃了放射性的火花，玛丽·居里在这个领域做出了杰出的贡献；在此基础之上，欧内斯特·卢瑟福开始研究各种放射性射线，并将它们分别命名为α射线、β射线和γ射线。α射线由沉重的粒子——氦的原子核——组成，卢瑟福用它轰击原子，探查原子的内部结构。β射线和阴极射线实际上是电子，而γ射线是能量最强的电磁波。

1887

研究人员：

阿尔伯特·A.迈克尔逊

爱德华·W.莫雷

研究领域：

宇宙学

结论：

“以太”并不存在

什么是以太？

地球与光以太的相对运动

海浪在水中传播，声波在空气（或者水）中传播，假如光也是一种波，那么它也应该有某种传播的介质。19世纪80年代以前，科学家一直这样认为，他们把这种介质称为“光以太”，也就是“光的传播介质”。

根据托里拆利和波义耳所做的实验，光可以在真空中传播，太空也无法阻隔光波，所以我们才能看见月亮、太阳和星星。因此，无论是在太空里还是在地球上的真空中，以太无所不在。可是，以太看不见也摸不着，它似乎也不会与行星和卫星产生任何摩擦。既然如此，以太真的存在吗？



地球在绕太阳的轨道上以大约67500英里/小时（约30千米/秒）的速度公转，与此同时，它也围绕地轴自转，那么以太可能相对于宇宙或太阳保持静止，也可能在太空中不停地运动，无论是哪种情况，以太相对于地球上任何一点的运动速度都一定非常快，于是迈克尔逊和莫雷决定设法测量“地球与光以太的相对运动”。

早期实验

-

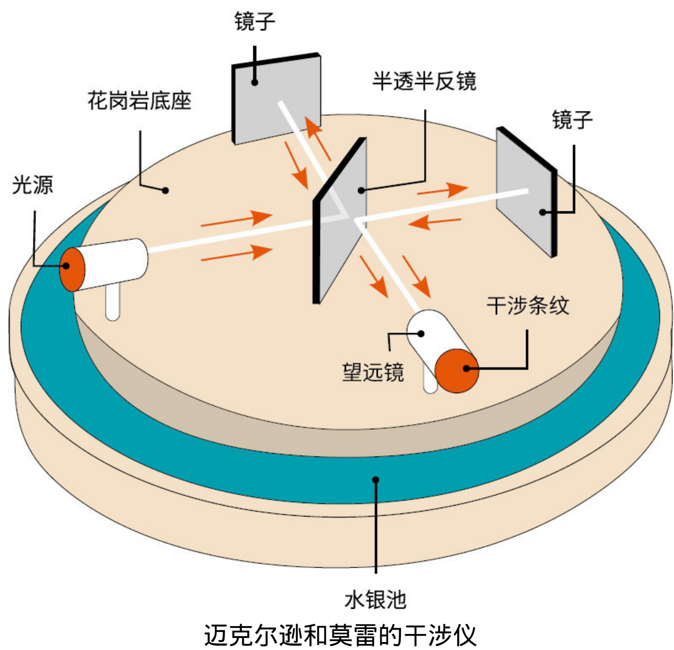
1881年，迈克尔逊在德国柏林展开了早期的实验，可街道上的喧嚣直到凌晨2点依然没有平息，外界的振动严重干扰了测量，实验设

备的灵敏度也有所不足。尽管如此，迈克尔逊仍证明了自己的思路完全可行，他还发明了干涉仪。后来，迈克尔逊和莫雷一起改进了这台仪器，1887年，他们在如今美国俄亥俄州克利夫兰的凯斯西储大学合作完成了那个著名的实验。

干涉仪

-

一盏油灯的光被聚焦到一面镀了一半银的镜子（半透半反镜）上，于是一半的光直接穿过镜子，另一半则向左被反射90度。然后两束光分别被另一面镜子反射回来，回到半透半反镜时，两束光的行程都是36英尺（约11米）。随后，两束光同时射向一个望远镜，形成干涉条纹。



迈克尔逊和莫雷的干涉仪

但偶尔经过的马车和雷雨产生的振动仍会影响实验精度，所以迈克尔逊和莫雷把整套装置安装在一块重达3吨的石头底座上。然后，

他们把底座放进一个水银池里，只要轻轻一拨，石头底座就会带着整套装置缓缓旋转。无论以太向哪个方向运动，在干涉仪旋转的过程中，总有一个位置会让某束光与以太的运动方向平行，而另一束光则与以太的运动方向形成一定角度。这样一来，两束光到达望远镜的时间应该出现些微的差别，导致干涉条纹向侧面移动。

他们的设想是这样的：光束A和光束B的传播方向存在夹角。如果光束B平行于“以太风”的方向，那么光束A就必然会穿过以太风，此时它经过同样光程花费的时间应该比光束B更少。

这就像在河里游泳，在距离相同的情况下，穿过河流游个来回肯定比顺流而下再逆流而上花费的时间更少。事实上，如果河水的流速比你游泳的速度快，那你根本不可能逆流游回起点。

1887年7月8日正午，两位研究者让整套装置稳定地旋转了6圈，每转动1/16圈（22.5°），他们就观察一次干涉条纹。同一天傍晚6点，他们重复做了一次实验。接下来的两天里，他们在同样的时间又做了几次相同的实验。

按照他们的预期，装置每转动一圈，应该有四个位置会出现条纹的偏移，其中两次应该偏向左边，另外两次则偏向右边，所以干涉条纹最终应该呈现“左——右——左——右”的运动规律。根据他们的计算，干涉条纹偏移量至少应该是仪器能测得的最小值的20倍。

世界上最著名的“失败”实验

-

事实上，在他们的实验中，干涉条纹完全没有出现任何偏移。迈克尔逊写信告诉瑞利男爵：“我们完成了测量地球与以太相对运动的实验，结果表明，二者之间似乎完全不存在相对运动。”

这是否意味着地球表面的以太处于完全的静止状态？或许它会随

着地球一起旋转，就像地面上的树和建筑物一样。两位研究者提出：“也许在海拔较高的地方，比如说某座孤零零的山顶上，我们才能观察到以太与地球的相对运动。”

1895

研究人员：

威廉·康拉德·伦琴

安东尼·亨利·贝克勒尔

研究领域：

电磁波谱和放射性

结论：

世界上有各种各样的电磁波；有的重原子不太稳定

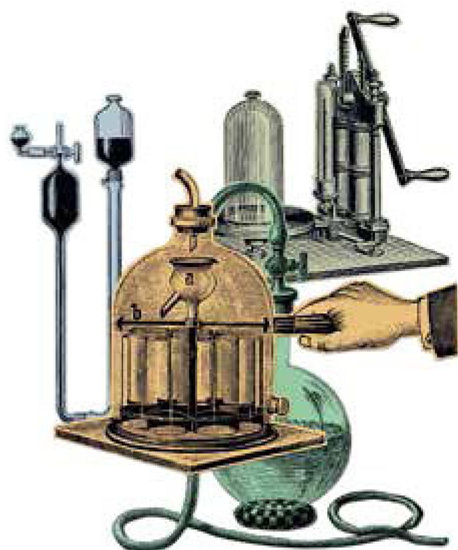
X射线是怎样被发现的？

看见骨骼

19世纪90年代，英德两国的科学实验室里时常可以听见噼噼啪啪的爆裂声——还有更多声音来自近乎真空的奇怪管子。17世纪，科学家发明了真空泵，到19世纪，强大的真空泵已经能把玻璃管抽到近乎完美的真空，确切地说，管内气压大约只有标准大气压的百万分之一。

1838年，迈克尔·法拉第就曾注意到，低压玻璃管内的两个电极（正极和负极）之间会产生奇怪的弧光。1857年，海因里希·盖斯勒用更好的泵进一步降低了管内气压，这一次，电极产生的闪光几乎充满了整个管子，看起来很像是现代的霓虹灯。1876年，欧根·戈尔德斯坦发现，如果在真空管里放置一件固体物品，射线会在管子另一头

投下它的影子。戈尔德斯坦将这种射线命名为“阴极射线”。后来，威廉·克鲁克斯用更高效的泵制造出了类似的闪光，不过他也注意到，阴极前方有一片奇怪的暗区——现在我们称之为“克鲁克斯暗区”。如果继续抽出管内的空气，暗区会从阴极弥漫到阳极，然后阳极背后的玻璃板开始闪烁。克鲁克斯认为，穿过玻璃管的阴极射线以某种方式穿透了阳极，直接撞击到玻璃板上，所以玻璃才会发光。



1895年11月8日星期五，维尔茨堡大学的物理教授威廉·伦琴打算用菲利普·莱纳德发明的一种管子做几个实验。莱纳德在真空管上开了一个小窗，然后在上面盖了一片铝箔，好让一部分阴极射线穿透到管外。出于某种原因，伦琴在铝箔窗附近放了一块涂有荧光材料（氰亚铂酸钡）的纸板，结果他发现，纸板发出了明亮的辉光，虽然周围显然没有任何光源。



然后，伦琴在完全黑暗的屋子里换了另一种管子继续做实验，他注意到房间对面某处发出了幽幽的荧光。伦琴点亮蜡烛，发现发光的还是那块荧光板，他原本打算下一步再把荧光板放到真空管旁边，没想到它隔着这么远的距离居然也能发光。

我知道了！

-

激动万分的伦琴在实验室里待了整整一个周末，他反复做了无数次实验，最后终于确认，荧光真实存在，不是他自己想象出来的。伦琴不知道奇怪的荧光来自哪里，但它肯定与真空管内的射线有关，于是伦琴将这种射线命名为“X射线”（X的意思是“未知”），不过在很长一段时间里，人们一直叫它“伦琴射线”。

两周以后，伦琴拍下了第一张X射线照片——照片上是他的妻子安娜·柏莎的手。看到照片的时候，柏莎惊呼：“我看见了自己的死亡。”那一年年底，伦琴将自己的实验结果写成了一篇论文——《论一种新射线》；1901年，这个发现为他赢得了有史以来的第一个诺贝尔物理学奖。伦琴没有为X射线申请专利，因为他希望每个人都能从

中受益。

启迪

-

伦琴的论文问世还不到一个月，法国物理学家亨利·贝克勒尔就受到了他的启发，开始研究磷光材料硫酸钾铀的性质。荧光材料在接受光照时会发出辉光，但外界光线消失后，它的荧光也会随之消失，磷光材料则会吸收光线，哪怕切断外界的光源，它也会在黑暗中继续发光。贝克勒尔认为，这种磷光材料可能也会释放X射线，或者其他某种类似的东西。

他用两片很厚的黑纸把一张感光底片裹了起来：

> 黑纸包裹的底片哪怕放在太阳下暴晒一整天也不会显影。接下来我在黑纸外面放了一张纸，将一片磷光材料放在上面，然后把它们放在太阳下晒了几个小时，结果，冲洗后的底片上出现了磷光材料留下的阴影。随后我又做了两次实验，一次我在磷光材料下面垫了一张钞票，第二次则把钞票换成剪了一个洞的金属片，最后得到的结果还是一样……通过以上实验，我得出结论：这种磷光材料能够释放出某种射线，这种射线可以穿过不透光的黑纸，导致银盐底片感光显影。

放射性

-

不过后来贝克勒尔又发现，这种材料就算不经过太阳的暴晒，也一样能让底片感光。“于是我自然而然地想到，这种磷光材料应该会释放出一种看不见的射线，它的效果与莱纳德先生和伦琴先生研究的射线十分相似。”

1896年5月，这位科学家终于确认，神秘的新射线实际上来自磷光材料中的铀。贝克勒尔就这样出乎意料地发现了放射性。

1897

研究人员：

约瑟夫·约翰·汤姆森

研究领域：

原子物理

结论：

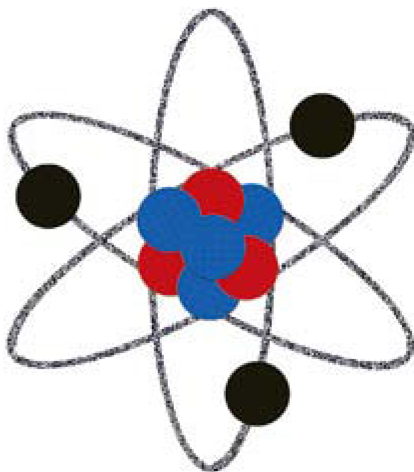
初探原子结构

原子里面有什么？

发现电子

19世纪90年代，物理学领域涌现出了大量重要发现，每一个新的实验和发现都会迅速引来诸多追随者。科学家如饥似渴地盯着同行的进度，同时也不吝于分享自己的思路。在那个时代，电灯才开始普及，汽车刚刚出现，但原子物理已经欣欣向荣。

1897年，在英国剑桥的卡文迪许实验室里，来自曼彻斯特的物理学家约瑟夫·约翰·汤姆森发现，原子很可能是由更小的粒子组成的。不过当时他认为，最小的亚原子粒子可能也有氢原子那么大，氢是最轻的一种元素（也是宇宙中含量最丰富的元素）。



早在1890年，阿瑟·舒斯特就曾提出，阴极射线带有负电荷，所以它在磁场和电场中会发生偏转。舒斯特推测，阴极射线的荷质比可能超过1000，但谁也不相信他的话。

阴极射线

-

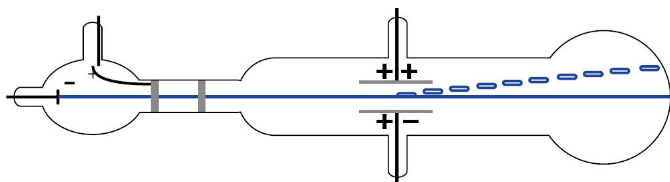
汤姆森也在利用真空管研究阴极射线，他注意到阴极射线能在空气中传播很长一段距离，如果组成射线的粒子体积和氢原子差不多，那么它根本不可能跑这么远。因为这么大的粒子必然会和空气中的氮分子和氧分子发生碰撞，但阴极射线似乎能从空气分子的缝隙中穿过去。

阴极释放的射线会向四面八方传播，不过汤姆森设法将它们聚成了一束，以便详细研究。汤姆森猜测，阴极射线束一定是由粒子组成的，因为它与热电偶碰撞时会产生热量。为了完成定量测量，汤姆森设计了一种管子：阴极释放出的射线穿过阳极进入一个钟形罩，罩子里放了一块画好网格的屏幕，阴极射线会在屏幕正中间生成一个明亮的光斑。

偏转射线

-

正常情况下，阴极射线沿直线传播，不过和舒斯特一样，汤姆森也同样发现，磁铁和强电场都会让阴极射线发生偏转，这说明射线束一定带有负电荷。根据阴极射线的偏转量，可以算出射线束的荷质比和射线中粒子的质量。



阴极射线在电场中发生偏转

计算的结果令人震惊：阴极射线的荷质比是氢离子（H^+）的1000倍以上，这意味着组成射线的粒子质量还不到氢原子的千分之一（或者它携带的电荷极高）。此外，无论阴极射线来自哪种源（例如原子），射线中的粒子质量似乎都完全相同。汤姆森总结道：

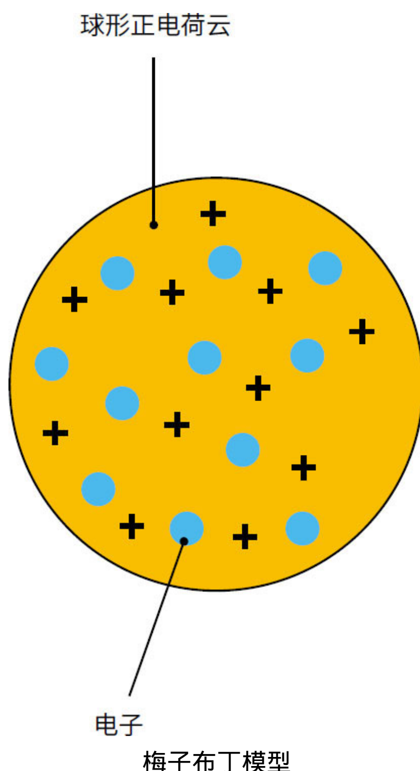
> “由于阴极射线在静电场和磁场中的运动轨迹和带负电荷的粒子一模一样，于是我只能得出唯一可能的结论：该射线由带负电荷的物质粒子组成。”

汤姆森把这些粒子称为“微粒”，不过人们很快就将它命名为“电子”。汤姆森认为，所有原子中都含有电子。1904年，他提出了原子的“梅子布丁模型”：原子是带正电荷的球体，小小的电子像梅子一样嵌在原子里，它们可能还会绕原子中心快速转动。

选错了专业？

-

汤姆森的父亲希望他成为一名工程师，但家里没有筹到足够的钱送他去当学徒，所以汤姆森去剑桥学了科学，最后成了一名物理学家。28岁时，汤姆森被任命为实验物理卡文迪许教授，即卡文迪许物理实验室主任，不少人对此不以为然。第一，他比其他候选者年轻很多；第二，他在实验物理领域没什么建树，甚至还有点笨手笨脚。汤姆森的一位助手曾经写道："J.J.（汤姆森）对自己的动手能力没什么自信，我觉得有必要鼓励他亲自操作设备！不过他很擅长阐述自己的思路，而且总能找到正确的方向。"



梅子布丁模型

尽管汤姆森动手能力不强，但他却善于设计实验装置，同时也是个很好的老师。1906年，汤姆森获得了诺贝尔奖，这是卡文迪许实验室第二次获得这一殊荣。这个实验室前后出过29位杰出的诺贝尔奖得主，这实在是个了不起的成就。

汤姆森还和自己的学生弗朗西斯·威廉·阿斯顿一起研究过正离子（失去一个电子的原子）。1912年，这对师生成功地分离了不同的离子，因为它们的质量各不相同。他们的早期发现之一是，稀有气体氖拥有两种同位素——也就是现在我们所说的氖-20和氖-22。这两种原子的质子数完全相同，但中子数却不一样。汤姆森和阿斯顿设计的仪器后来逐步演化为质谱仪，它是化学家手中最强大有用的工具。

1898

研究人员：

玛丽·斯克沃多夫斯卡·居里

皮埃尔·居里

研究领域：

放射性

结论：

镭的发现开辟了放射性研究的新天地

镭是怎样被发现的？

放射性研究的先驱

玛丽·居里也许是有史以来最伟大的女性科学家。她的童年充满坎坷。19世纪的波兰不是民族主义者的乐土，在俄国人的统治下，玛丽一家的生活充满艰辛。不仅如此，俄国统治者还撤销了波兰学校里的实验教学课程。幸运的是，玛丽的父亲是一位物理教师，他把大部分实验设备都搬回了家里，所以他最小的女儿（他一共生了五个孩子）玛丽·萨洛美娅·斯克沃多夫斯卡才不至于完全得不到教育。

后来，玛丽设法去了巴黎大学继续学习，在那里，她遇到了皮埃尔·居里。皮埃尔当时是一名物理学和化学讲师，他在自己的实验室里为玛丽留出了一块研究天地。

铀射线

-

1895年末，科学家发现了X射线和放射性，玛丽（这是她的法语名）决定深入研究神秘的“铀射线”。



幸运的是，皮埃尔和他的兄弟发明了一种可以测量电荷的灵敏设备——静电计。玛丽发现铀射线能让周围的空气导电，所以她可以利用静电计来探测这种射线。

刚开始，玛丽研究了各种各样的铀盐，最终发现，射线的强度只跟铀的数量有关。于是她猜测铀射线并非出于分子的相互作用，而是来自铀原子本身的某种特性。

沥青铀矿是一种常见的含铀矿石。玛丽发现，这种矿石产生的射线是金属铀的四倍，所以她推测，沥青铀矿中一定含有某种活性远大于铀的物质。于是她开始寻找其他放射性材料。1898年，玛丽发现钍也会释放射线。

新元素

-

皮埃尔逐渐迷上了玛丽的实验，最后他决定加入她的行列。不过毫无疑问，在两人的合作中，玛丽始终占据着主导地位。

1898年4月14日，居里夫妇研磨并溶解了3.5盎司（约99克）沥青铀矿，希望找到那种新的高放射性材料。事实证明，他们当时太理想化了。1902年，他们研磨的矿石增加到了1吨。经过好几个月的艰苦工作，居里夫妇终于分离出了0.004盎司（约0.113克）氯化镭。

居里夫妇用硫酸溶解沥青铀矿来提取铀，实验中，他们发现，提取后的铀矿残渣依然具有放射性。由此他们设法分离出了一种类似铋的新元素——它在元素周期表中位于铋的后面，它的化合物性质也和铋的化合物十分相似。这是一种前所未见的新元素，为了纪念自己的祖国，玛丽将它命名为“钋”（“钋”全名Poliuonm，来自“波兰”的Po）。1898年7月，居里夫妇对外公布了这一发现。

抓住狡猾的镭

-

然后他们试着进一步分离剩余的残渣，于是又发现了另一种高放射性物质。它的性质和钡十分相似，而且它的化合物和钡的化合物混合在一起，很难分开，但钡燃烧时会产生明亮的绿色火焰，光谱中也有绿线，而这种新物质却会释放出神秘的红线，它一定是另一种新元素。

分离新元素和钡是一件非常困难的工作，玛丽和皮埃尔只能将它们转化为氯化盐，然后让它们慢慢结晶。新物质的氯化盐溶解度比氯化钡低一点点，所以它结晶的速度也比氯化钡要快一点点。居里夫妇必须用静电计测试搜集到的每一份样品，检验它是否具有放射性。也

就是在这个过程中，他们创造了“放射性”这个词语。

1898年12月21日，居里夫妇基本确定，这的确是一种新的元素。新元素的放射性极强，所以居里夫妇将它命名为“镭”。12月26日，他们向法国科学院报告了这一发现，虽然这时候他们尚未分离出纯净的镭。直到12年后，玛丽才终于分离出了纯净的镭。几年后，镭的化合物在欧内斯特·卢瑟福的研究中发挥了关键作用；今天，全世界的镭化合物年产量只有大约3.5盎司（约100克）。



全世界的认可

-

截至1902年，玛丽和皮埃尔一共发表了32篇科学论文。1903年，玛丽在获得博士学位后前往英国伦敦访问皇家研究所，但这个机构却不允许女性发表演讲，所以皮埃尔被迫上台替她发表演说，听众提问的时候，他就低头转问玛丽，玛丽回答以后，他又大声转告听众。

那年11月，玛丽、皮埃尔和亨利·贝克勒尔共同获得了诺贝尔物理

学奖——她是第一位获此殊荣的女性。最初诺贝尔委员会只打算表彰皮埃尔和贝克勒尔，但皮埃尔发现以后立即据理力争，于是委员会终于把玛丽的名字加进了名单。

1899

研究人员：

尼古拉·特斯拉

研究领域：

电学

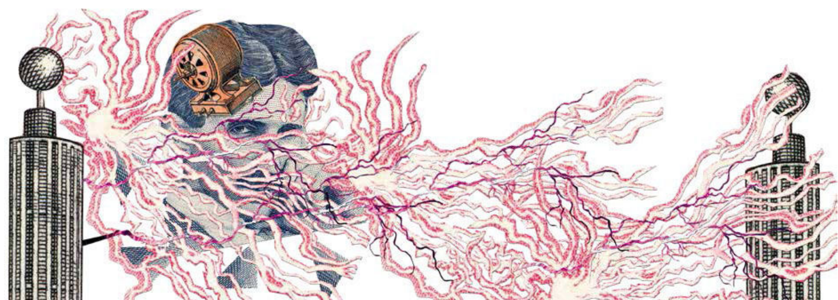
结论：

电能可以通过无线的方式传播

能量能在空间中传播吗？

无线传输能量

塞尔维亚裔科学家尼古拉·特斯拉出生在今天的克罗地亚境内，在学校里的时候，他就是个数学神童。为了逃离时常出现在脑子里的幻象，特斯拉离开了自己的家，前往奥地利工艺大学。他在学校里非常刻苦，然而不幸的是，年轻的特斯拉很快染上了赌瘾，连续有好几次考试不及格，于是他再次逃离学校，同时也和家人断绝了所有联系。特斯拉高大英俊，瘦得惊人，他或许就是人们印象中“疯狂科学家”的原型。



1884年6月，特斯拉前去纽约加入了托马斯·爱迪生麾下。不过第二年，因为爱迪生不肯兑现曾经答应过的奖金，特斯拉愤而辞职离开了爱迪生的公司。然后特斯拉设法说服了几位商人资助自己的研究，如果他的发明专利能有收益，投资人也将得到一部分利润。1888年，特斯拉与乔治·威斯汀豪斯签订了一份回报丰厚的合同。

1891年，特斯拉完成了他最著名的发明——特斯拉线圈。特斯拉线圈实际上是一种共振变压电路，可以产生超高压交变电流，直到今天，人们偶尔还会使用它。

无线输电

-

在1893年的芝加哥世界博览会上，威斯汀豪斯展出了“特斯拉多相系统”，一位参观者写道：“房间里悬挂着两个裹了一层锡箔的硬橡胶板，两块板子大约相距15英尺（约4.6米），导线把它们和变压器连接在一起。通电的一瞬间，两块板子之间的桌子上放的几个灯泡和房间里各处的灯泡都亮了起来，令人惊讶的是，这些灯泡与那两块板子之间没有任何电线。”

换句话说，特斯拉实现了无线输电。

1899年，特斯拉在科罗拉多的斯普林斯建立了实验室，因为他的多相交流系统就安装在这里，而且当地的朋友能为他免费无限量供

电。在某次早期实验中，特斯拉制造出了一道长达5英寸（约12.7厘米）的电火花，这意味着当时电路中的电压大约高达50万伏特。

他刚开始用的是一组特斯拉线圈，在实验过程中，特斯拉不断增加电路中的电压，最终的电压高达400万到500万伏特。巨大的电火花仿佛人造的闪电，响亮的轰鸣声传到了15英里（约24千米）外。街上的行人发现自己脚底有火花跳跃，金属马蹄铁上传来的电流惊得驯服的马儿左冲右撞，屋里的电灯突然自顾自地亮了起来。特斯拉的实验甚至导致了一座发电站短路，造成当地大规模的电力中断。



特斯拉希望制造出“放大发射器”，实现无线电力传输，不过他对外谎称自己是在研究如何传输无线电信号。他曾经写道：“我对自己的所有发明都很有信心，我坚信，放大发射器必将福泽子孙后代。”

沃登克里弗塔

-

1900年，在约翰·皮尔庞特·摩根的资助下，特斯拉在长岛肖勒姆的沃登克里弗开始修建一座187英尺（约57米）高的铁塔，希望借助它实现跨越大西洋的无线电广播和电能传输。然而在高塔修建完工时，特斯拉已经没钱了，而摩根在1901年的股灾中损失惨重，他拒绝提供进一步的资助，于是特斯拉的计划胎死腹中。

特斯拉线圈是这位工程师最广为人知的发明，不过除此以外，他还申请了其他数十项专利，并发明了各种各样的电力设备，其中包括“利用电能对学生进行潜意识浸润教育，让笨孩子变得聪明起来”的项目。

现在，无线输电技术已经在某些领域投入了实际应用，人们主要用它来给各种设备充电：小到电动牙刷、剃须刀、心脏起搏器和智能卡，大到公共汽车和火车之类的电动交通工具，甚至包括磁悬浮列车。科学家和工程师正在继续研制无线充电的手机、平板电脑和笔记本电脑。不过，特斯拉的梦想依然没有完全实现——至少是在目前。

1905

研究人员：

阿尔伯特·爱因斯坦

研究领域：

力学

结论：

与牛顿力学相比，狭义相对论能够更好地描述亚光速物体的运动

光速是恒定的吗？

E = mc²：狭义相对论

如果能够乘着一束光旅行，你会看见什么景色？

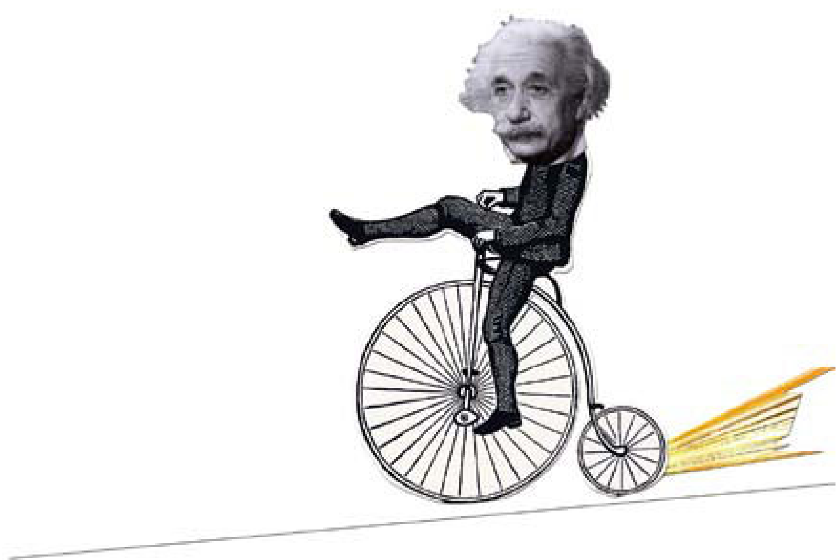
1879年3月14日，阿尔伯特·爱因斯坦出生在德国乌尔姆市。1894年，他随父母移居到了意大利，不过在1895年和1896年，爱因斯坦去了瑞士的阿劳市上学，他发现这里的教育方式比自己以前在德国上的学校先进轻松得多。很久以后，爱因斯坦在自传中写道："学校里洋溢着自由的气氛，老师们诚挚认真，兢兢业业，这给我留下了难以磨灭的印象。"也就是在这段时间，年轻的爱因斯坦开始思考相对论。

狭义相对论悖论

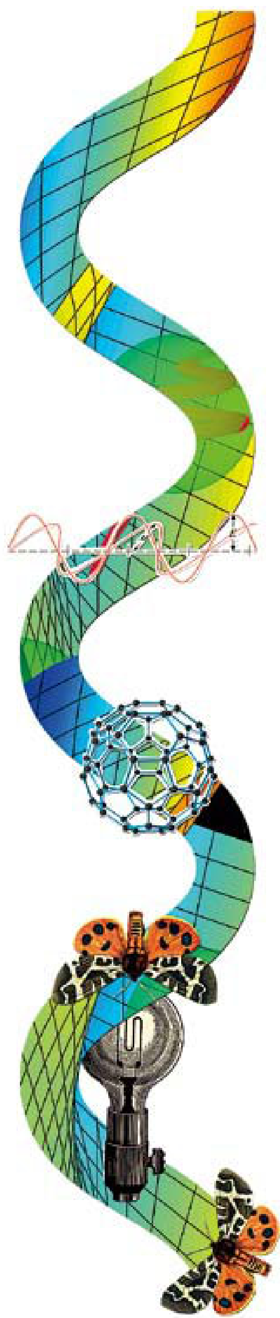
-

爱因斯坦在自传中提到了一个思维实验：

“……这个悖论早在16岁时就出现在我的脑海里：如果我以c（真空光速）的速度追逐一束光，那么在我眼里，这束光应该是一个静止的电磁场，虽然它仍在空间中振荡。但是，无论是依据现有实验还是根据麦克斯韦方程组进行推算，这样的场景似乎都不可能存在。于是我直觉地想到，无论观察者是以光速旅行还是相对于地球静止，他观察到的现象都应该遵循同样的法则。既然如此，那么前一个观察者如何确定自己真的处于高速运动的状态下呢？狭义相对论就是在这个悖论中萌芽的。”



这是一个悖论。如果爱因斯坦能看见静止的光，那么他就应该知道自己正在（以光速）运动——但这违背了伽利略的相对性原理。



1632年，伽利略在《关于两大世界体系的对话》中提出，如果一

位观察者坐在一条船甲板下面没有窗户的船舱里，海面上平静无波，那么他根本无从判断船是否在移动。当然，如果船加速或者转弯，观察者可以通过自己受到的力做出判断，但在感觉不到力的时候，他无法确定船是在匀速直线运动，还是相对于水面保持静止。

爱因斯坦或许听说过迈克尔逊和莫雷的实验，他们证明了光速不受以太的影响。无论如何，爱因斯坦开始相信，光速是恒定不变的，它永远都是186291英里/秒，或者说299792458米/秒，即光速c。

这个结论是反直觉的。投掷类项目的运动员通常需要助跑，无论他投掷的是棒球、标枪，还是橄榄球，因为助跑会加快物体在空中飞行的速度。但光却不一样，光源的运动速度不会影响光速。手电筒射出的光以c的速度传播，无论这个手电筒是稳稳地握在你的手中，还是在火箭上高速运动。

在1905年发表的狭义相对论论文中，爱因斯坦还提出了另一个假设：同样的物理定律适用于所有的惯性系（任何做匀速直线运动的载体或空间）。

宇宙中根本不存在绝对静止的地方，所以也没有绝对静止的以太可供光束穿梭其间。万事万物都在相对于其他物体不断地运动。你或许觉得自己待在原地没动，可是相对于火星来说，你正在空间中高速旋转。

那又怎样？

-

根据这些设想推出的结论具有深远的意义。第一，不同惯性系下钟表的时间并不相同。如果我看见你以极快的速度呼啸而过，那么从我的角度观察，你的钟应该走得比我的慢得多。

另外，某些事件在某位观察者眼中是同时发生的，但若是换了另

一个惯性系下的另一位观察者来看，情况可能完全不同。

1905年被称为爱因斯坦的“奇迹年”，除了这篇论文以外，那一年他还发表了其他三篇论文：其中一篇探讨光电效应，这为他赢得了诺贝尔奖；另一篇研究液体分子的布朗运动；还有一篇讨论了质量和能量的关系，这是狭义相对论的直接衍生品，正是这篇论文为后来闻名世界的质能方程（$E = mc^2$）奠定了根基。

1908年，爱因斯坦曾经的老师赫尔曼·闵可夫斯基重新阐述了狭义相对论，除了描述空间以外，他又加入了时间这一维度。起初爱因斯坦并不相信闵可夫斯基的四维时空理论，但是后来，他不但接受了这套理论，还以此为基础发展出了广义相对论。

爱因斯坦在1905年提出的理论被称为“狭义相对论”，因为在这套理论中，观察者必须处于惯性系下。如果牵涉到加速和引力，那就得用到广义相对论了。

1908—1913

研究人员：

欧内斯特·卢瑟福

汉斯·盖革

欧内斯特·马士登

研究领域：

原子物理

结论：

原子内大部分空间空无一物，中央是致密的原子核

世界为何大部分是空的？

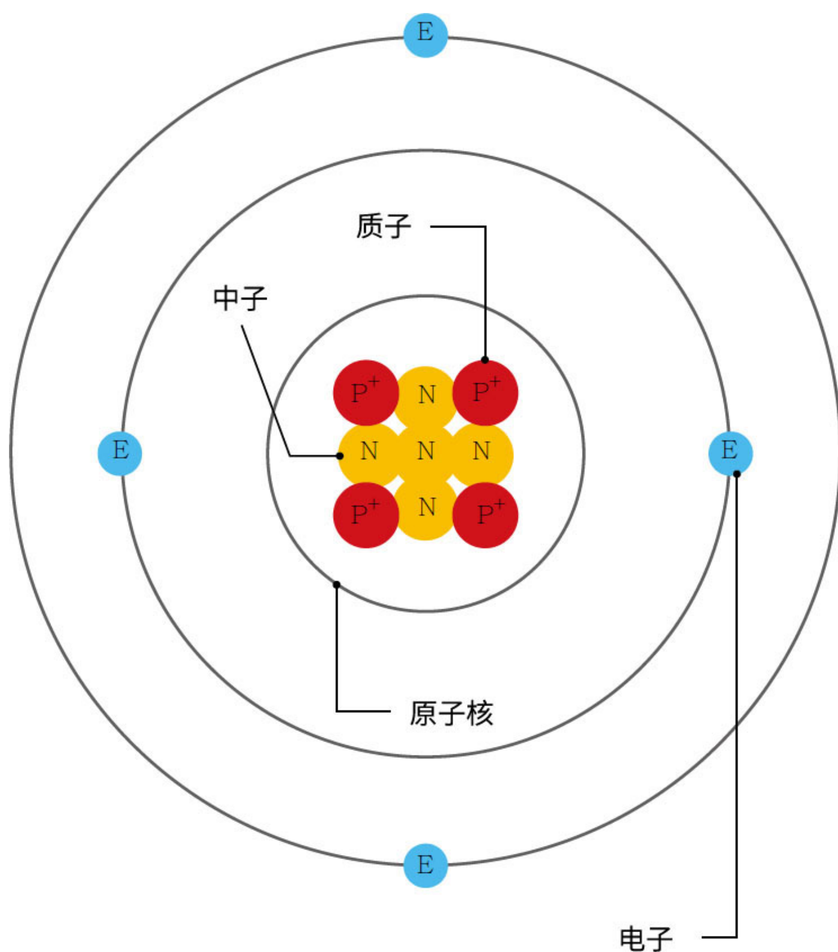
炮弹和面巾纸

“核物理之父”欧内斯特·卢瑟福是一位新西兰的农民之子，曾从师于约瑟夫·约翰·汤姆森。基于在加拿大麦吉尔大学所做的放射性衰变研究，他获得了1908年的诺贝尔奖。卢瑟福发现，放射性元素会释放三种“射线”，他将这些射线分别命名为α射线、β射线和γ射线。移居英国曼彻斯特以后，卢瑟福通过实验证明了α射线实际上是一种与氦原子核一模一样的粒子（现在我们知道，这种粒子由2个质子和2个中子组成，带有2个正电荷）。

原子结构

-

汤姆森曾经证明，电子是携带负电荷的微型粒子，他还推测说，原子的其余部分应该是一个带正电荷的球体，电子就嵌在这个球里——“梅子布丁模型”。



卢瑟福决定利用α射线轰击其他原子，探查原子的内部结构。他邀请了来访的德国科学家汉斯·盖革和盖革的学生欧内斯特·马士登一起来做这个艰苦的实验。

为了测量镭放射源释放的α粒子数量，卢瑟福和盖革制造了一个探测器，它的主体是一根充有空气的玻璃管，管内有一对电极。每个α粒子都会电离部分空气，产生一个电脉冲。这套简单的设备后来发展成了著名的盖革计数器。

α粒子在空气中散射的程度令卢瑟福深感惊讶，于是他建议盖革和马士登用α粒子轰击其他材料，观察散射的情况。他们决定用金箔来做实验，因为这是一种单元素材料，而且非常薄。

首先，他们制作了一根6英尺（约2米）长的玻璃管，并在管子一端放置了一份镭的样品，它会释放出α粒子。管子中央有一条宽0.04英寸（约1毫米）的狭缝，只能允许极细的一束粒子通过。玻璃管另一端是一块荧光屏，如果遭到α粒子的轰击，它就会发光；几位科学家采用显微镜来记录闪烁的次数和闪烁点的分布范围。

金的散射

-

抽空玻璃管内的所有空气以后，α粒子轰击产生的闪烁在屏幕上形成了一块狭窄清晰的光斑，但一旦充入空气，闪烁点分布的范围就会扩大很多，感觉就像对着一块聚乙烯板按亮了手电筒。如果抽光玻璃管内的空气，在狭缝另一侧放一片金箔，也会发生同样的事情。所以，空气分子和金原子都会让α粒子发生散射。

根据卢瑟福的计算，如果金原子是弥散式的正电荷球体，那么α粒子的方向只会出现极小的偏转，而且大部分粒子会直接从中穿过。所以实验中α粒子散射的程度才会让他大吃一惊，因此他提出，应该进一步寻找是否有粒子发生了大角度偏转。

大角度？

-

盖革和马士登设计了新的实验设备，他们在荧光屏前加装了一块铅板（它可以阻挡任何粒子），并调整了金箔的角度，让α粒子以大约45°的方向轰击金箔，结果两位科学家发现，粒子束有可能以近乎同样的角度被反射回来——就像你利用镜子观察墙对面的情况一样。而且他们还发现，金的散射作用比铝更强，后者的密度远小于金。

后来他们又做了一系列类似的实验，并根据实验结果推测，粒子的散射程度会受到几个因素的影响：（a）材料越厚、（b）原子越重、（c）粒子运动速度越慢，粒子束的散射就越明显，不过只有极少部分的粒子会发生超过90度的偏转。

这个结果让卢瑟福大感震惊，虽然他才是实验的提议者。在剑桥大学的一次演讲中，卢瑟福表示，这就像是你对着一张面巾纸射出一枚15英寸（约38厘米）的炮弹，结果炮弹居然被反弹回来打中了你。

> “经过深思熟虑，我意识到，这种反弹散射一定是单次碰撞的结果；在计算过程中我发现，发生大角度偏转的粒子数量如此稀少，唯一的解释是，原子的大部分质量都集中在一个很小的原子核内。于是我想到，原子应该有一个微小致密的原子核，它携带正电。”

问题的关键在于，如果正电荷是均匀分布的，那么α粒子就不应该发生明显的散射，但是，如果携带正电荷的是一个很小的核，那么大部分粒子根本不会和它发生接触，只有一小部分粒子会迎面撞上它，就像棒球撞到球棒上一样。

所以卢瑟福推测，原子内部大部分空间是空的，中间是携带正电的极小的原子核，电子围绕原子核不断高速旋转。

1911

研究人员：

海克·卡末林·昂内斯

研究领域：

电学

结论：

某些金属在极低的温度下会变成超导体

金属在绝对零度下会表现出什么特性？

超导和低温之间的关系

温度降到接近绝对零度时，就会发生一些奇怪的事情。罗伯特·波义耳曾经探讨过我们有可能达到的最低温度是多少，后来研究者发现，一定质量的气体在冷却过程中体积会稳步下降，由此计算可知，在温度下降到大约-455℉（约-270℃）时，气体的体积会减少到0。

焦耳提出热功当量方程以后，开尔文男爵根据热力学原理计算得出，绝对零度应该是-459.67℉（-273.15℃）。现在，绝对温度可以用开尔文温标（K）或兰金温标（R）表示，绝对零度是0K（0R），冰的熔点是273.15K （491.67R）。

低温学

-

1882年，荷兰物理学家卡末林·昂内斯成了荷兰莱顿大学的实验物理教授。1904年，他建立了一个大型低温实验室来研究低温物理。1908年7月10日，昂内斯在4.2K的低温下液化了氦气，抽去容器中残存的蒸气后，他成功得到了1.5K的超低温，创造了当时的世界纪录。



开尔文男爵认为，在如此低的温度下，金属的电阻会大幅上升，从而阻断电流。但昂内斯却不同意他的看法。1911年4月11日，昂内斯将一根固体水银导线浸入4.2K的液氦中，发现水银的电阻竟然降到了零。他兴高采烈地在笔记本（他的笔记直到一百年后才被破译出来）上写道：

> “水银进入了一种新的状态，这种非凡的导电特性或许可以称之为‘超导状态’。”

昂内斯的重大突破引爆了其后数十年的低温研究，科学家也得出了诸多具有实用价值的研究成果。比如说，大型强子对撞机就使用了96吨的氦来让1600块超导磁铁保持1.9K的低温。

达到绝对零度是个不可能完成的任务，但是在1999年，科学家成功地将一片金属铑冷却到了0.0000000001K，这已经相当接近绝对零度了。

液氦被冷却到2.17K以下时会变成超流体，这意味着如果你把它装在一个杯子或烧杯里，会有一层薄薄的液氦膜沿着杯壁向上“攀爬”，越过杯沿，最终所有液氦都会从杯子里“逃走”。这种现象被称为“昂内斯效应”。



1911

研究人员：

查尔斯·汤姆森·里斯·威尔逊

研究领域：

气象学和粒子物理

结论：

云室的发明带来了出乎意料的物理发现

把头探进云里就能获得诺贝尔奖？

云室和它带来的科学发现

威尔逊在山顶上看到的景象带来了粒子物理学的重大突破。作为一位苏格兰的农民之子，C.T.R.威尔逊本来打算学医，可是在剑桥上学的时候他迷上了物理，特别是气象学。

1883年，利用公开募集的资金，苏格兰气象学会在苏格兰威廉堡的不列颠最高峰、海拔4409英尺（约1344米）的本尼维斯山上修建了一座气象站。这里的气象员每小时都会记录降雨、风速、气温等数据，天气恶劣时，他们常常需要冒着生命危险完成工作。悲伤的是，政府拒绝提供资金来维护气象站，1904年，气象站被迫关闭。



气象站运营期间，他们有时候会在夏天雇用年轻的物理学家来工作几个星期，好让长期雇员有机会休个假。1894年9月，暑期工威尔逊高兴地来到了这里。

一天清晨，威尔逊站在山顶的制高点附近，脚下不远处就是一道陡峭的悬崖。当时他面朝西边，太阳在身后升起的时候，他看见自己的影子投射在脚下的云海上。然后突然之间，威尔逊看到了一道光晕，或者说一圈“佛光”——影子的头部周围绕着一道漂亮的彩虹。



眼前的奇景令威尔逊兴奋不已，他决定深入探查云的特性。不幸的是，作为学生，他很快就得回剑桥去，那里地势平坦，云也平淡无奇，所以威尔逊决定设计一个云室——他打算在烧瓶里制造人工云。

瓶子里的云

经过一系列失败的尝试，威尔逊成功做出了一套人工制云设备。他在一个玻璃大烧瓶里装满潮湿的空气，然后迅速降低瓶内气压，于是空气中的水蒸气很快达到了过饱和，瓶内开始形成少量水滴，水滴的核心可能是空气中的尘埃。但威尔逊失望地发现，这套设备根本无法制造出他感兴趣的那种云，不过他很好奇，电离的空气分子是否会在瓶中形成云迹。



1895年末，伦琴发现了X射线；1896年初，威尔逊试着将X射线引入云室，结果烧瓶内立即出现了大量浓雾。多年以后，他写道："我还清晰地记得自己当时的喜悦。"显然，X射线电离（剥夺部分分子的电子，留下带正电的离子）了部分空气，这些离子为水蒸气提供了凝结核。

接下来的几年里，威尔逊又做了一些研究。从1900年到1910年，他一直忙于教学工作。不过在1910年，威尔逊又写道："关于α射线和β射线的想法正在变得越来越清晰，我开始考虑这样的可能性，是否可以利用这些粒子电离空气凝结水汽形成的云迹来拍摄记录粒子的轨迹……"

1911年初，威尔逊重新开始琢磨云室，他发现，带电粒子的确会在烧瓶中留下云迹，就像飞机在空中留下尾迹一样。人类第一次用肉眼看到了粒子的运动轨迹。很快威尔逊就成功拍摄了单个原子和α粒子的运动轨迹。他说，电子会形成"一束束纤细的云丝"。

最惊人的发现

1923年，威尔逊终于完善了云室的设计，并成功拍摄了两张漂亮的电子轨迹照片。这引发了全世界的兴趣，很快云室就进入了巴黎、列宁格勒、柏林和东京的实验室。云室让科学家发现了正电子，也让人们直观地看到了电子和正电子的湮灭现象，以及原子核的裂变和聚变。除此以外，云室也是科学家研究宇宙射线的重要工具。卢瑟福表示，云室是“科学史上最新颖、最精彩的设备”。

1927年，C.T.R.威尔逊获得了诺贝尔物理学奖，为了表彰他找到了“通过水蒸气的凝结来显示带电粒子运动轨迹的方法”——虽然他发明这种设备完全是出于另一个风马牛不相及的原因。威尔逊自己曾经写道：“毫无疑问，1894年9月我在本尼维斯山待的那两个星期中观察到的现象引领了我毕生的科研工作”。

1913

研究人员：

罗伯特·安德鲁斯·密立根

哈维·弗莱彻

研究领域：

粒子物理

结论：

电子携带的电量是1.592×10^{-19}库仑

如何测量粒子携带的电荷？

测量电子

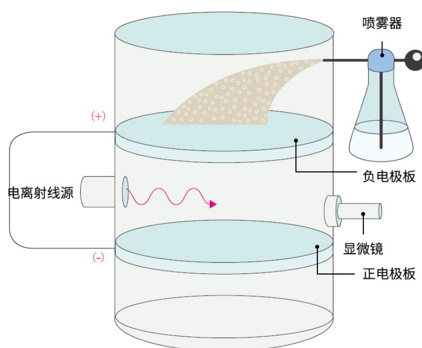
1897年，约瑟夫·约翰·汤姆森发现了电子，并测量了电子的荷质比，但当时谁也不知道电子的确切质量和电量,所以，如果能够测量电子携带的电量，我们就能算出它的质量。

1910年，罗伯特·密立根成了芝加哥大学的教授，不过在此之前，他已经开始了自己的油滴实验。在研究生哈维·弗莱彻的帮助下，密立根设计制造了这套实验装置，它的原理其实非常简单。

测量微量电

利用香水喷雾器，科学家将细小的油滴喷入观察室上方的容器里，然后通过显微镜观察油滴在空气中坠落的速度。

然后他们向容器内射入一束X射线，这种射线会电离容器内的部分空气，剥夺部分空气分子的电子，让它变成带正电的离子。如果离子化的分子与油滴发生碰撞，那么正电荷会被转移到油滴上。这不会影响油滴受到的地球引力，不过下一步，科学家会给容器施加一个电场。



测量单个电子的电量

观察室上下方各有一块金属板，最高可施加5300V的电压，下方的金属板是正电极，上方则是负电极。电场会对油滴施加一个与重力方向相反的力，推动它向上远离正电极板，靠近负电极板。研究者可以观察油滴是继续坠落、保持静止,还是向上运动，并测量它的运动速度。

研究者并不知道每一滴油携带了多少电荷，但他们推测电荷应该存在一个基本单位，因此每一滴油携带的电量都应该是这个基本单位的倍数——可能是2倍、4倍或5倍。

他们知道空气的黏度、每次试验时的气温以及黏度对极小液滴的不同影响。因此，根据油滴下降的速率，可以算出每一滴油的有效重量。

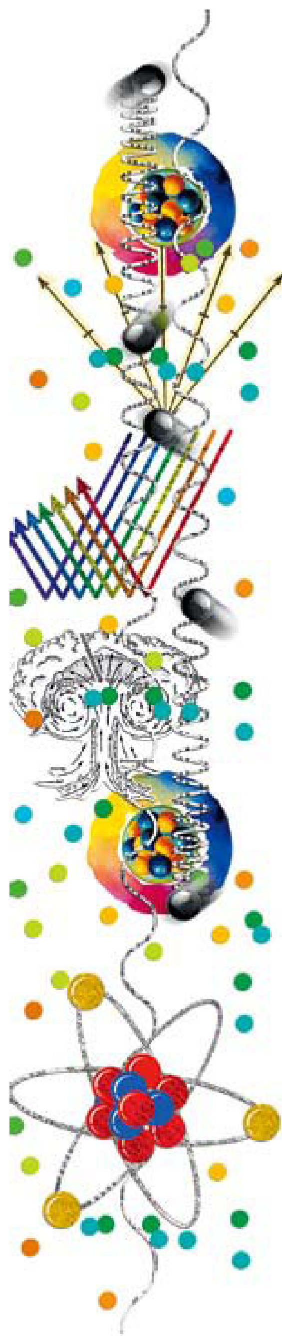


电场

-

然后，研究者接通电路，小心地调整电压，使液滴悬浮在空中。这项工作进展缓慢，难度极大。实验中，他们一共研究了58滴油，有时候单单一个油滴就需要观察5个小时。油滴保持悬浮状态时，它受到的重力正好等于电场力，而电场力可以通过此时的电压计算得出。知道了油滴的重量，就能算出它携带的电量。

然后研究者升高电压，看着油滴“向上坠落”。根据油滴的运动速率，可以再次验算它的电量。



综合多次实验的计算结果，他们最终得出结论：电荷的基本单位

一定是1.592×10^{-19}C——我们今天公认的数值是1.602×10^{-19}C，密立根和弗莱彻的结果与这个值的误差小于百分之一。之所以会出现这样的误差，很可能是因为他们采用的空气黏滞系数有所偏差。

发现

-

这个结果非常重要，原因有几个。第一，它确认了电荷由离散的基本单元组成，而不是托马斯·爱迪生等人猜测的连续变量。

第二，如果这个数值就是最小的电量基本单元，那么它一定就是单个电子携带的电量。

第三，它帮助我们测量了阿伏伽德罗常数，这个常数的名字来自意大利科学家阿梅代奥·阿伏伽德罗。1811年，阿伏伽德罗提出，在给定的温度和压力下，任何气体的体积都与它包含的粒子（原子或分子）数量成正比。阿伏伽德罗常数的数值为6×10^{23}，即0.035盎司（约1克）氢、0.42盎司（约12克）碳、0.52盎司（约15克）氧或1.98盎司（约56克）铁包含的原子或分子数量。

密立根在计算最终结果时排除了大约一半的实验数据，这引发了一些争议。这样的数据篡改并不明智，它可能最终走向彻底的学术欺诈。事实上，这些数据不会改变密立根的计算结果，但会增大整个实验的统计误差。

不难想象，通过显微镜观察油滴这项枯燥冗长的工作主要由研究生哈维·弗莱彻承担，但在一份不同寻常的协议中，他与密立根达成了交换默契：密立根独享这篇论文的所有权益，而弗莱彻则是另一篇相关论文的唯一作者，那是他的博士论文。结果，弗莱彻得到了博士学位，而密立根获得了1923年的诺贝尔物理学奖。

密立根不相信爱因斯坦在1905年的论文中提出的光电效应，他做

了很多高难度实验，试图证明爱因斯坦错了，但结果却适得其反。他说：“我花了十年时间试图推翻爱因斯坦在1905年提出的等式，结果却事与愿违。到了1915年，我不得不承认，爱因斯坦的理论是对的，尽管它看起来很不合理。”



1914

研究人员：

詹姆斯·弗兰克

古斯塔夫·路德维希·赫兹

研究领域：

量子力学

结论：

量子力学理论首次得到了实验证明

量子力学比我们想象的还要古怪吗？

量子跃迁

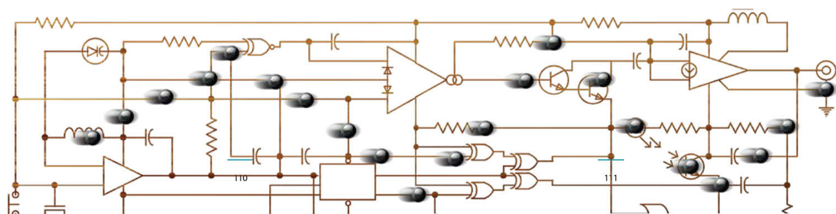
飘浮的水银原子会对飞行的电子产生什么影响？弗兰克和赫兹在柏林大学合作研究这个问题。1914年4月14日，这两位科学家在联名发表的第一篇论文中描述了自己如何引导阴极产生的电子沿着真空管穿过金属网栅流向阳极。

电子携带负电荷，所以带正电的网栅会吸引电子，随着网栅的正电压不断升高，电子运动的速度也会不断加快。阳极的电势略低于网栅，所以只有运动速度够快的电子才能成功到达阳极，其余的则会被网栅吸附回去。

真空管内有一些水银蒸气，研究者在管子里放了一滴水银，然后

把管子加热到239℉（115℃）。因此，穿过真空管的电子很容易与管内飘浮的水银原子发生碰撞。

研究者测量了到达阳极的电流，结果发现，随着网栅的电压不断升高，到达阳极的电流也稳定增长，直到电压升高到4.9V，电流突然下降到了接近零的程度。这意味着电子的运动速度稳步增长到了430万英尺/秒（约131万米/秒），然后突然停了下来。



然后研究者继续增加网栅的电压，电流重新开始增大，直到电压达到9.8V（也就是2×4.9V），电流再次出现断崖式下降；而在电压增加到14.7V（3×4.9V）时，同样的一幕再次上演。

显然，电子似乎只会失去4.9电子伏的能量，不多也不少。超过临界速度的电子会失去4.9电子伏的能量，然后继续运动。弗兰克和赫兹指出，4.9电子伏正好符合水银原子在254纳米（nm）上的一条谱线。

这是怎么回事？

-

起初弗兰克和赫兹推测，飞行的电子可能电离了水银原子，不过尼尔斯·玻尔认为，他的新原子模型可以解释这个现象。实际上，玻尔在前一年就已发表了新原子模型的论文，但弗兰克和赫兹并未看到这篇文章。

在此之前，J.J.汤姆森的“梅子布丁”模型已经被卢瑟福的新模型

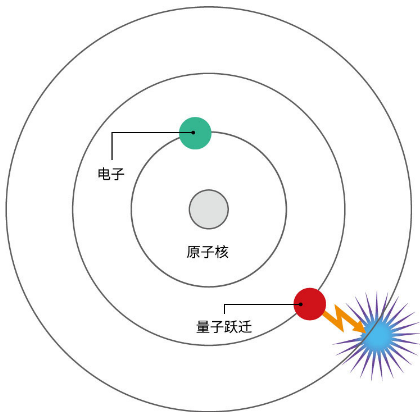
取代，卢瑟福认为，原子中央是一个致密的原子核，其余大部分空间空无一物，电子可能围绕原子核高速运动。但这个模型有个严重的问题：高速运动的电子应该会发光，但科学家并未观测到原子发光。另外，带负电的电子理应冲向带正电的原子核，但实际上它们却没有。

持续的能量流？

-

德国物理学家马克斯·普朗克曾经提出，能量可能不是连续的能量流，而是离散的“小包裹”，或者说“量子”。在1905年的光电效应论文中，爱因斯坦曾证明了光的确以量子的方式传播。

哥本哈根的尼尔斯·玻尔认为，电子可能也存在类似的现象。因此，他提出了新的原子模型，电子的确围绕原子核做高速运动，但每个电子都有固定的能级（玻尔称之为“定常轨道”）。最低能级的轨道最多只能容纳2个电子，它们只能在自己的定常轨道上运行，无法再靠近原子核，下一个能级的轨道最多能容纳6个电子，以此类推。所有能级都是量子化的——每条轨道都有特定的半径和能量，就像光量子一样。



玻尔效应

电子可以吸收一定的能量，跃迁到较高的能级（如果这条轨道上有足够的空间）；而当它跌落回原来的能级时，又会释放出等量的能量。玻尔指出，弗兰克和赫兹观察到的4.9电子伏正是水银原子两个量子能级之间的能量差。他们的实验之所以会出现这样的结果，很可能是因为水银原子内部的电子被激发到了更高的能级。

玻尔还提出，这些电子跌落到原来的能级时，应该会释放出波长为254nm的紫外线。

1914年5月，弗兰克和赫兹在第二篇论文中报告说，在他们的实验条件下，水银释放出的光波长几乎正好就是254nm，这说明被激发的原子回归了“基态”。

解释实验结果

-

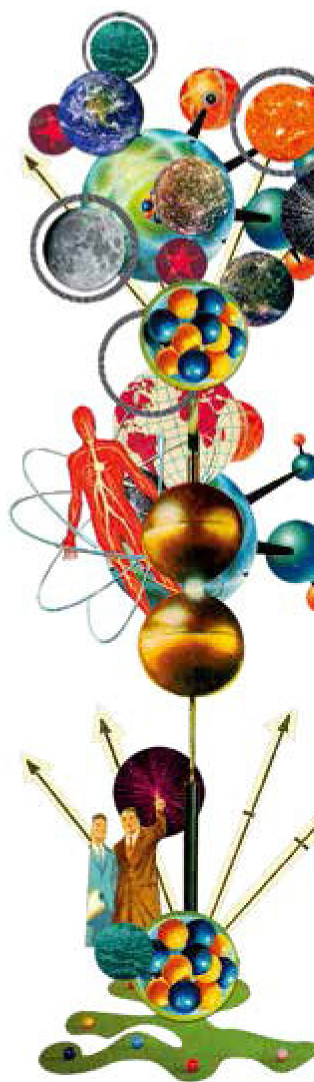
现在，最初的实验结果看起来似乎有了一些眉目。水银原子中的电子只能被4.9V以上的电压激发，因为在水银原子内部，被占满的量子化能级与下一个空能级之间的最小能量差就是4.9eV。

电压低于4.9V时，电子与水银原子碰撞后只会发生反弹，然后继续向着网栅和阳极运动。一旦电压达到4.9V，大部分电子会带着足够的能量冲击水银原子，激发原子内部的电子。与此同时，原来的电子就会失去能量，速度变慢，无法到达阳极，所以科学家测得的电流几乎降到了零。

电压达到9.8V时，每个电子几乎都会连续撞击并激发两个水银原子，然后失去能量无法继续运动，所以电流再次降到了零。

随着被激发的电子跌落回原来的量子能级，水银原子很快就会释放出波长254nm的紫外线。

于是，新兴的量子力学理论找到了第一个实验证据。几年后，弗兰克就这些实验结果发表了一次演讲，据说爱因斯坦在听完演讲后评论说：“这太可爱了，简直催人泪下。”他们的实验证明了电子可以在某条轨道上突然出现或消失，完全没有中间的运动过程，就像火星突然跳到了一条新的轨道上，然后又悄然回归它原来的轨道，这就是著名的“量子跃迁”。



5．物质深处：1915—1939

据说在19世纪末，物理界的大佬之一，开尔文男爵曾说过一句话："现在物理学领域已经没有什么新东西可供我们去发现了。"然而就在那之后的短短几年间，狭义相对论和量子力学改变了世界。

进入20世纪以后，物理学变得古怪起来。1915年，爱因斯坦让人们看到，引力可以扭曲时空；卢瑟福实现了炼金术士的梦想，将一种元素转化成了另一种；还有一位比利时神父提出，原初的宇宙是从一只蛋开始的。

法国贵族物理学家路易·德布罗意提出了一个惊世骇俗的观点，他认为电子可能也会表现出波的特性。贝尔实验室的戴维森和革末证明了德布罗意的理论：电子具有波粒二相性。然后，保罗·狄拉克预测了反物质的存在；1932年，卡尔·安德森在加州理工学院发现了反物质。

科学家追求"越来越高的测量精度"，但海森堡却证明了在原子层面上，我们不可能同时精确测量物质的位置和速度。物理学永远充满了不确定性。

1915

研究人员：

阿尔伯特·爱因斯坦

研究领域：

广义相对论

结论：

引力会影响时钟和光

引力与加速度有关吗？

爱因斯坦的广义相对论

请想象一下，如果你在电梯里扔下一只西红柿，但就在你放手的那个瞬间，电梯的缆绳断了，电梯会带着你和西红柿一起向下坠落，此时此刻，电梯、你和西红柿的坠落速度相同，所以西红柿将会停留在原地——也就是你的手边——因为你们都在做自由落体运动。

绕地轨道上飞船里的宇航员也处于自由落体状态。他或许会感觉到失重，但实际上，作用在宇航员和飞船身上的引力正好可以让他们停留在地球轨道上。如果他试图扔下一只西红柿，那么就会出现前述坠落电梯里的那一幕——西红柿会飘浮在他手边。

火箭发动机点火时，宇航员会感觉到有一股力量将自己压向飞船下方，就像在地球上起飞时他感受到的强大引力一样。事实上，引力的作用效果和加速度一模一样。



在地球表面保持静止



在火箭上

这就是爱因斯坦的“等价原则”。

加速度和钟

-

飞船尾部有一台奇怪的钟——它实际上是一盏频闪灯，每秒钟闪烁十次。如果飞船保持静止，水平地停放在地球上，那么灯发出的闪光也会以每秒十次的频率到达飞船的船头。但是，如果飞船在宇宙中加速运动，那么在船头观察到的闪光频次就会变慢。船尾发出的闪光依然是每秒十次，但是在相邻的两次闪光之间，飞船的速度会变快一点点，所以闪光需要花费更长的时间才能到达船头，所以到头来，你

在船头观察到的闪光可能只有每秒九次。

这样一来，在这个具有加速度的参考系（飞船）下，在船头的观察者看来，船尾的钟就变慢了。信号受到了引力红移的影响。

因为加速度和引力具有相同的效果，所以时钟在强引力场中也会变慢：这就是所谓的“引力时间膨胀”。

相反地，如果频闪灯位于飞船船头，在加速度或引力的作用下，船尾的观察者会觉得它变快了——这种现象叫作引力蓝移。

1915年，爱因斯坦发表了引力频移理论的论文，他的理论得到了多个实验的验证。

利用原子钟

-

1971年10月，物理学家约瑟夫·哈菲尔和天文学家理查德·基廷做了另一个更富戏剧性的实验。他们将四座超高精度的原子钟分别放在全世界的四个商业航班上，第一个航班向东飞行，第二个向西，以此类推。然后，他们比较了飞机上的时钟与美国海军天文台（USNO）的原子钟显示的时间。

美国海军天文台相对于地球参考系保持静止，根据广义相对论，飞机上的所有时钟都应该比地面上的走得快，因为在3万到4万英尺（约9000～12000米）的高空中，它们受到的引力比地面上的小。

与此同时，根据狭义相对论，向东飞行的时钟与地表的运动方向相同，所以它应该比地面上的时钟运动的速度更快，因此它走的速度应该比地面上的时钟慢；根据同样的道理，向西飞行的时钟比地面上的运动速度慢，所以它应该比地面上的钟走得快。广义相对论与狭义相对论的效应叠加，科学家最终计算得出，向东飞行的时钟应该比

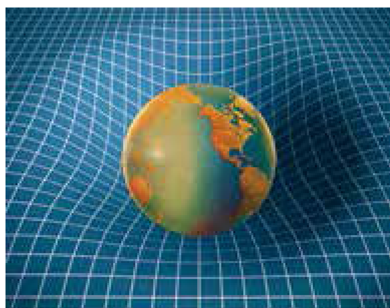
USNO的原子钟慢50纳秒（一纳秒等于十亿分之一秒），而向西飞行的时钟则要比USNO的钟快275纳秒，结果他们发现，事实果然如此。

引力和光

-

想象一下，我们的宇航员乘坐飞船在轨道上运行。他们都处于自由落体状态，所以飞船本身是一个惯性系。宇航员在飞船左侧向右射出一支箭，击中对面墙壁上的靶子。但是，如果在他松开弓弦的那个瞬间，发动机点火加速，那么飞船会向前运动，箭也会脱靶扎在墙上更靠近船尾的位置。

如果宇航员射出的是一束激光，也会发生同样的事情。在自由落体状态下，光是直线传播的，但是如果受到加速度的影响，光会被弯曲，要是加速度足够大，激光也会“脱靶”。



因为引力场与加速度等效，所以引力也会弯曲光束。如果宇航员射出激光的时候，飞船还停留在发射场上尚未点火，那么这束光会在地球引力的作用下向下弯曲，虽然弯曲的程度可能细微得让你根本无法觉察。

爱因斯坦提出了一个震惊世界的新想法：引力其实并不存在。实际上，在地球这样的大质量物体附近，时空本身出现了扭曲，所以在

没有外力作用的情况下，飞船和宇航员不是像牛顿定律预测的那样做直线运动，而是绕地球轨道飞行。

1919

研究人员：

欧内斯特·卢瑟福

研究领域：

原子物理

结论：

元素可以发生转化，但铅却不能变成金子

你能把铅变成金子吗？

元素转化的局限

运用α粒子（即氦原子核）证实了新的原子结构以后，欧内斯特·卢瑟福又开始利用同样的武器把氮转化成氧。

他注意到α粒子无法在空气中传播太远的距离，他还发现，这种粒子与空气分子碰撞时会释放出某种奇怪的辐射，导致“远在α粒子传播范围外的硫化锌屏幕闪烁频次上升。引起屏幕闪烁的高速运动原子携带正电荷，能够被磁场偏转，它的传播范围及携带的能量与α粒子在氢气中穿过时产生的高速氢原子十分相似”。

> “强辐射源镭C被放置在一个长约1.2英寸（约3厘米）的金属盒子里，盒子一侧的开口上蒙了一层银板，它的阻滞作用约等于2.4英寸（约6厘米）厚的空气。硫化锌屏幕安装在银板后大约0.04英寸（约1毫米）处，这样科学家可以在银板和屏幕之前放

置一块具有吸附作用的箔纸……金属盒内部的空气被抽空……如果向盒内充入干燥的氧气或二氧化碳，屏幕上出现的闪烁频次会明显下降，下降程度符合该气体所应该具备的阻滞作用。但是，我们注意到了一个奇怪的现象：如果向盒内充入干燥的空气，屏幕的闪烁频次却会不降反升。整套装置的总吸收率大约相当于7.5英寸（约19厘米）厚的空气时，屏幕上的闪烁频次变成了真空时的2倍。在实验中我们清晰地看到，α粒子穿过空气时会导致长程闪烁频次增加，其亮度和氢原子产生的闪烁差不多。”



卢瑟福已经知道，氧气不会产生这种奇怪的闪烁，而空气主要成分是氧气和氮气，所以，看起来这种奇怪的辐射来自α粒子和氮气分子的碰撞。

轰击氮原子

-

于是，卢瑟福尝试用α粒子轰击纯氮，结果在轰击后的气体中发现了氢原子核。现在我们可以叫它氢离子或者质子，但是在当时，质

子尚未被发现或命名，所以卢瑟福才会叫它“氢原子核”。这些粒子一定是氮原子核被轰击后分裂出来的。

卢瑟福认为：“……难免会得出这样的结论：α粒子与氮气碰撞产生的这些长程原子并不是氮原子，却很可能是带电的氢原子……如果事实真的如此，我们只能推断，氮原子在与高速α粒子的近距离碰撞中发生了分裂，由此产生的自由氢原子是氮原子核的组成部分。”

换句话说，卢瑟福的实验结果表明，氢原子核是氮原子核的组成部分，而且它可能也是所有原子核的组成部分。这看起来似乎真的有点道理，因为氢是最轻的元素，绝大多数元素的原子质量大致都是氢原子质量的整数倍。比如说，假设氢原子的质量是1，那么一些相关元素的原子质量大致如下：碳，12.0；氮，14.0；氧，16.0；铝，27.0；磷，31.0；硫，32.1。

考虑到撞击的力量极大，出现这样的结果并不意外；α粒子自身并未破碎，那么氮原子的分裂似乎在所难免。这个实验的结果表明，如果我们能用携带更高能量的α粒子——或者其他类似的入射粒子——轰击其他较轻元素的原子，或许它们的原子结构也会遭到破坏。

核反应

-

移居剑桥以后，卢瑟福请求帕特里克·布莱克特利用云室来研究α粒子与氮原子的反应。1924年，布莱克特拍摄了23000张照片，这些照片中共有415000条离子化粒子留下的轨迹，其中8条轨迹表明，α粒子与氮原子的碰撞产生了一个不稳定的氟原子，它很快又衰变成了一个氧原子和一个质子（N＋He→[F]→O＋H）。

1920年，卢瑟福确定了氢原子核的确是所有原子核的基本组成单元，这是一种新的基本粒子，卢瑟福将它命名为“质子”。

第二年，卢瑟福在与尼尔斯·玻尔的合作中提出，大部分原子的原子核里应该还存在一种电中性的粒子，它会稀释带正电荷的质子，避免质子相互排斥。卢瑟福提出，这种粒子也许应该叫“中子”。



1919

研究人员：

亚瑟·爱丁顿

弗兰克·沃森·戴森

查尔斯·戴维森

研究领域：

天体物理

结论：

爱因斯坦是正确的

爱因斯坦的理论能被证实吗？

广义相对论的实验验证

1882年，亚瑟·爱丁顿出生在英国肯德尔，31岁时，他成了剑桥大学的天文学教授。爱丁顿相信直觉，他经常浮想联翩，提出一些关于恒星结构和恒星能量来源的理论——然后再去为自己的直觉寻找证据。幸运的是，很多时候他总是对的。

听说了爱因斯坦的广义相对论以后，爱丁顿激动万分。当时英国和德国正在交战，爱国的英国人对敌国的科学进展漠不关心，但爱丁顿是个和平主义者，所以他成了第一个用英语宣讲相对论的学者。

接下来，爱丁顿和皇家天文学家弗兰克·沃森·戴森一起说服了政

府资助两支探险队去观察1919年5月29日的日全食，他们认为，这次的观测数据也许能够支持爱因斯坦的理论。



预言

-

根据广义相对论，引力会扭曲光线。如果来自遥远恒星的光从太阳附近经过，那么强大的引力场会导致光线向太阳的方向发生弯曲，于是在地球上观察的我们就会发现，这颗恒星在天空中的位置有细微的偏差。

大部分时间我们根本不可能观察到这类现象，因为阳光太过耀眼，我们根本看不见与太阳擦肩而过的遥远星光。不过，在日全食期间，太阳的光芒会被月球遮掩，所以在那几分钟里，我们可以看到这些远方的星星。我们可以拍摄日全食期间的照片，然后与日全食结束后的照片互相比较，检查确认遥远恒星的位置。

引力对光线的影响应该非常细微。如果爱因斯坦的理论正确，那么星光会偏转一个很小的角度。一个圆是360度，每度又分为60分，每分有60秒。恒星出现在我们视野中的位置应该比它的实际位置离太阳更远。根据牛顿的引力学说，星光应该偏转0.87秒（也就是说还不到1秒），但若是按照爱因斯坦的理论，星光会偏转1.75秒——是牛顿预测值的两倍还多一点。

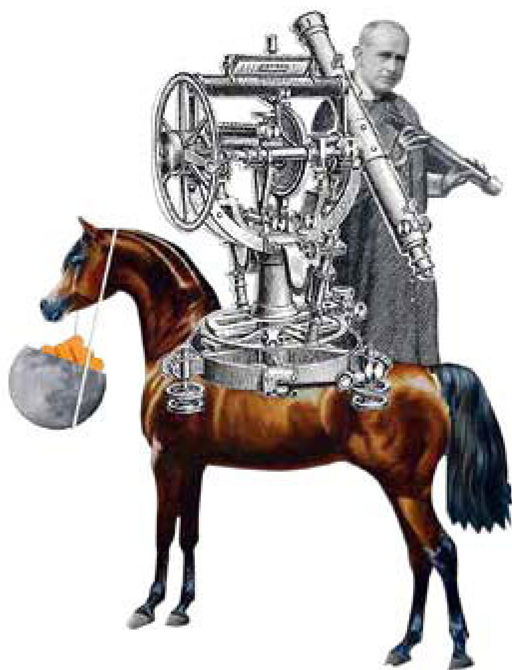
在世界上的哪个地方？

-

地球上能观察到这次日全食的区域从巴西开始，跨越大西洋和非洲中部，一直延伸到坦噶尼喀湖畔。研究者决定派出两支探险队，分别前往巴西的索布拉尔和中非西海岸外几内亚湾的葡属普林西比岛。

1919年3月8日，探险队带着当时最好的望远镜和特制的折叠式帐篷登上了“安瑟莫号”。前往巴西的小队于3月23日登上巴西海岸，随后转乘轮船和火车顺利抵达索布拉尔。

与此同时，前往普林西比的小队乘坐“安瑟莫号”经马德拉前往葡萄牙，4月23日，他们到达了目的地。队员们在面朝西边的小隔间里架起了设备，望远镜的镜头直指大洋上空。



日全食当天

-

那天清晨，巴西的天空中阴云密布。“第一次接触”（月亮开始遮掩太阳表面）刚开始的时候，云层依然很厚，不过探险队队员依然借助稀薄的阳光成功校准了望远镜的方向。随后云层渐渐散去，就在月亮完全遮盖太阳之前的一分钟，太阳周围空出了一片清晰的区域。太阳刚刚消失，队员们立即打开了节拍器，其中一个节拍器每隔10拍就会发出一次响声，观测员借助这种方法来测量曝光时间。最终，探险队队员利用两部相机拍下了总共27张底片。



普林西比小队就没这么幸运了。日全食那天早晨，当地出现了严重的雷暴，暴风雨一直持续到下午2:15。整个上午天空中乌云密布，直到下午1:15分，队员们才在云层的缝隙中瞥见了太阳的一角。最终他们竭尽全力拍下了16张底片，但其中只有7张有用。

结果和结论

-

介绍这次观测的论文长达45页，其中有许多页的表格和计算过程，最后他们得出结果，星光偏转的角度分别如下：

巴西1.98秒±0.12秒

普林西比1.61秒±0.30秒

这两个结果都更接近广义相对论提出的1.75秒，而不是牛顿力学

的0.87秒。

爱因斯坦的理论得到了有力的证明。

1922

研究人员：

奥托·施特恩

瓦尔特·格拉赫

研究领域：

原子物理学和量子力学

结论：

电子自旋存在两种状态

粒子会旋转吗？

施特恩-格拉赫实验

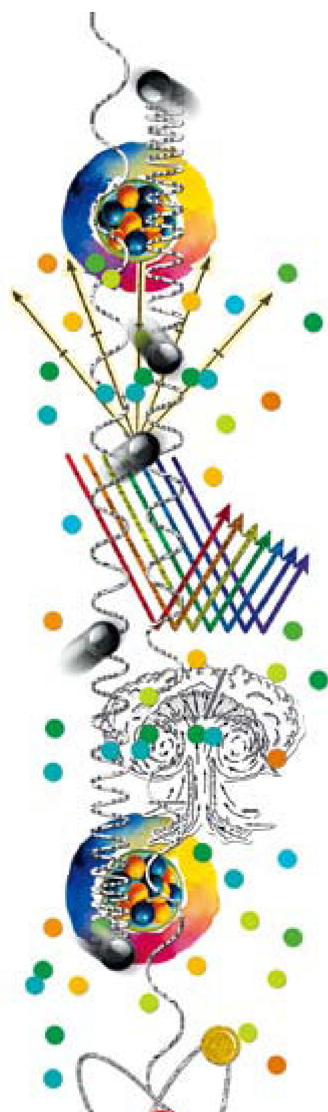
1920年左右，科学界对新兴的量子力学和原子结构尚有一些争议。在卢瑟福提出的经典模型中，带负电的电子围绕带正电的原子核高速运动。早在法拉第的年代，人们就已经知道，这样运动的电子应该表现出微型磁铁的特性。

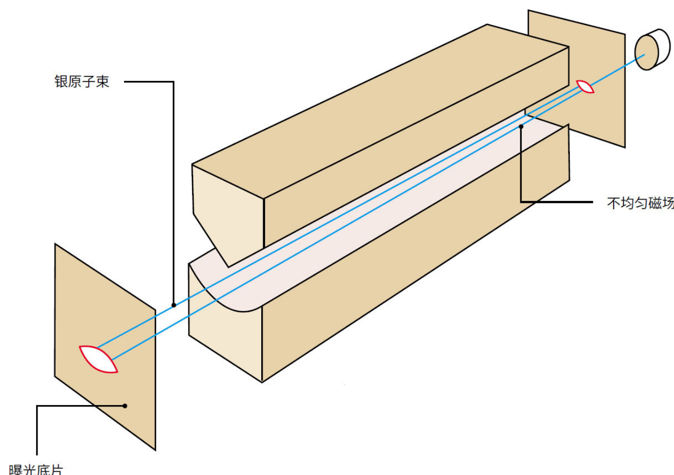
既然如此，如果让一束原子穿过一个磁场，那么原子束应该发生偏转，因为这些“微型磁铁”会被磁场吸引或排斥；那么，如果磁场是不均匀的，北极的磁力大于南极（或者反之），而原子可能向任何方向运动，所以它们在各个方向上发生的偏转应该差不多。因此，根据经典的原子结构理论，原子束应该向四面八方发散，如果这些原子撞击到屏幕上，应该形成一片黑斑。

粒子自旋值

-

量子力学的先驱尼尔斯·玻尔提出，这类粒子的磁矩（或者说“自旋”）只可能有两个值：＋1/2或-1/2。原子本身的方向不会影响计算结果，这就是自旋的量子特性。如果玻尔的理论正确，那么射入磁场的原子束应该会分成两股，在屏幕上留下两个斑点。出生在如今波兰境内的德国犹太物理家奥托·施特恩曾经与爱因斯坦并肩工作，1915年，他去了德国的法兰克福。瓦尔特·格拉赫也是一位德国科学家，第一次世界大战期间，格拉赫曾在德国军队中服役；1921年，他在法兰克福担任教授。就在那一年年底，施特恩和格拉赫共同设计了一个著名的实验。施特恩说：“如果这个实验能够成功实施，那么量子理论与经典模型之争就能得出一个清晰的结果。”但施特恩很快就离开法兰克福，去了罗斯托克担任教授；1933年，他移民到了美国。





测试含核原子的自旋

一次胜利

-

1922年初，格拉赫在法兰克福大学开始了自己的实验，他将一束银原子射入不均匀的磁场。根据玻尔和索末菲的最新理论，银原子的原子核应该会自旋。

穿过均匀磁场的银原子在屏幕上留下了一条很宽的条带，但是当格拉赫调节磁场，让它变得不再均匀以后，宽条带从中间一分为二，变成了两条，看起来就像唇印一样。

这样看来，量子理论和玻尔-索末菲模型似乎获得了胜利。

但是……

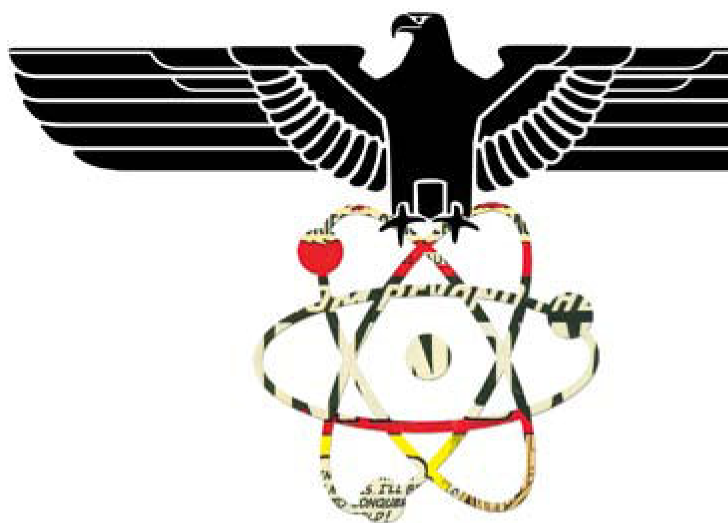
-

不幸的是，玻尔和索末菲是错的。银原子核并不会自旋，但当时谁也不知道这一点，直到三年以后，乌伦贝克和高斯密特才提出，自旋的其实是电子。银原子含有23对电子，最外层还有一个孤立电子，

正是这个孤立电子的自旋导致了原子束在不均匀磁场中发生偏转。（所有原子量为奇数的元素拥有的电子数量都是奇数——其中包括氢、锂、硼、氮、氟、钠和银。）

所以，施特恩-格拉赫实验得出了正确的结果，虽然是出于错误的原因。不过，实验本身非常成功，因为它为量子力学的量子化理论提供了最早、最直接的证据，也证明了自旋值的确只有两个。

后来，其他类似的实验表明，某些原子的原子核的确会自旋。20世纪30年代，伊西多·拉比证明了我们可以通过人工的方式扭转自旋的方向，这奠定了医用磁共振成像设备的理论基础。20世纪60年代，诺曼·F.拉姆齐改进了拉比的设备，制造出了原子钟。



虽然格拉赫独力实施了这个实验，但获得诺贝尔奖的却只有施特恩，显然，格拉赫之所以与这份荣誉失之交臂，是因为后来他曾为纳粹领导下的德国效力。不过，无论如何，施特恩-格拉赫实验都是量子物理学领域最重要的实验之一。

1923—1927

研究人员：

克林顿·戴维森

雷斯特·革末

研究领域：

量子力学

结论：

电子既是粒子又是波

粒子会波动吗？

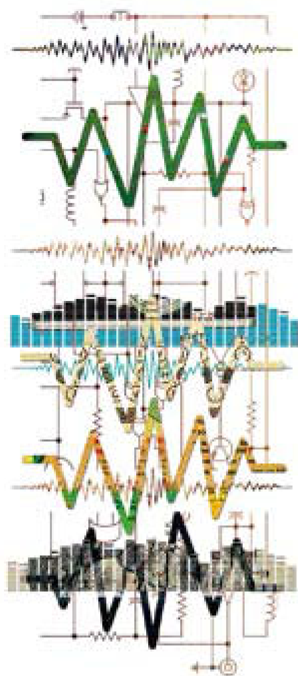
证明波粒二相性

某件事物当然要么是粒子，要么是波——或者也能二者皆是？1924年，法国物理学家路易·德布罗意——他实际上是第七代布罗意公爵，全名叫路易·维克多·皮埃尔·雷蒙德——在自己的博士论文中提出，电子具有波的特性。他甚至提出了一个十分新颖的观点：所有物质都具有波的特性。德布罗意的观点简直是对经典物理的亵渎，然而量子力学正在突飞猛进地发展，也许他的看法真有可取之处。最重要的是，德布罗意推导出了粒子的能量与波长的关系公式。

爱因斯坦在1905年发表的光电效应论文里指出，光具有波粒二相性，所以今天我们称之为“光量子”。那么，其他事物也具有类似的性质吗？哥廷根的瓦尔特·爱尔沙色提出，我们或许可以通过晶体的散射

来研究这类物质作为波的特性。

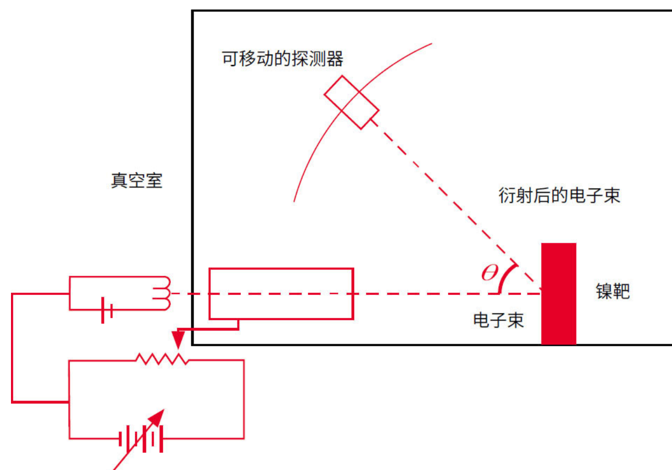
1923年，阿瑟·康普顿用一束X射线照射石墨，结果发现，X射线（和其他电磁辐射）似乎具有一定的重量，所以它们的确表现出了一些粒子的特性。



实验

-

1927年，克林顿·戴维森和雷斯特·革末在新泽西的贝尔实验室研究金属镍的表面结构，他们打算用一束电子来轰击镍，然后观察会发生什么现象。两位科学家加热灯丝制造出了电子束，然后利用中等大小的电压来加速电子束，电子束的能量可以通过电压进行调整。在50V的电压下，电子的能量是50电子伏（eV）。



电子的散射

然后，他们引导电子束从特定的角度轰击金属镍表面，并利用可移动的探测器测量电子的反射角度。两位科学家本来以为，粗糙的金属表面会让电子发生方向随机的散射，实验结果也的确如此："电子……轰击金属表面后立即向着四面八方飞溅，速度也各不相同。"可是有一天，实验出了点小岔子，于是他们发现了一些出乎预料的事情。

令人欣喜的意外

-

为了避免电子与空气分子发生碰撞，整套实验装置都装在一个真空盒里，但不幸的是，这个盒子有点漏气，所以金属镍外面生成了一层氧化镍。戴维森和革末试图加热镍来清除外面的氧化层，但他们当时并没有意识到，高温会改变金属镍的结构。在加热之前，镍靶的表面是一层微小的晶体，可是现在，小晶体聚合成了更大的结晶，每个晶体的宽度都大于电子束的直径。结果，在他们下一次做实验的时候，电子束击中的靶标变成了单个的晶体。

这一次他们发现，尽管一部分电子依然发生了随机的散射，但是

在特定的电压下，很多电子却射向了同一个角度。比如说，加速电压为54V的时候，他们发现反射的电子束在50度的方向出现了一个峰值，感觉就像在角度合适的时候，你会看见高层建筑的窗户或者远处汽车的挡风玻璃反射出一束耀眼的阳光。

1915年，威廉·亨利·布拉格和他的儿子威廉·劳伦斯·布拉格因为“用X射线对晶体结构的研究”荣获诺贝尔物理学奖。他们的实验证明，晶体会让X射线发生特定角度的反射，因为晶体由一层层的原子组成，角度合适的时候，这些原子层就会像镜子一样反射X射线。不久后，人们开始利用X射线的衍射来研究晶体结构，测量射线的反射角度，就能算出晶体内部原子层之间的距离。

粒子和波

-

戴维森和革末报告称，在特定电压下，镍晶体会朝几个特定的方向精准地反射电子束，反射后的每组电子会分为3束或6束。他们一共发现了20组这样的角度，电子的反射路径和X射线一模一样。

换句话说，他们发现电子在这个实验中的表现与X射线完全相同，这意味着电子具有波的特性。

在戴维森、革末实验之前，人们一直以为电子只是带负电的粒子，不过现在，它又成了一种波。从某个角度来说，他们的发现与康普顿效应互为映射：康普顿发现了光波具有质量，而戴维森和革末发现电子拥有波长。波和粒子都表现出了属于对方的一些特性。

1927

研究人员：

维尔纳·卡尔·海森堡

研究领域：

量子力学

结论：

微观世界里的一切都是不确定的

一切都是不确定的？

海森堡不确定性原理

如果我们知道某个粒子的运动速度，那么就没法知道它的确切位置。德国物理学家维尔纳·海森堡是量子力学的主要先驱之一。1901年，海森堡出生在德国的维尔茨堡，后来他曾在慕尼黑和哥廷根学习物理和数学。1924年底，海森堡去了哥本哈根协助尼尔斯·玻尔工作；1927年，他在哥本哈根构建量子力学的数学基础时提出了著名的不确定性原理。

一个思维实验

-

量子理论的早期模型提出，电子在固定的轨道上绕原子核运动。海森堡不喜欢这个模型，他说，我们无法真正观察到电子的轨道，所

以根本无法确认电子的确存在于这些轨道上。我们能观察到的只是电子在不同的轨道上跃迁时释放或吸收的光。



于是海森堡做了一个思维实验。显微镜靠光波把图像投射到观察者的眼睛里。来自太阳或电灯的光照亮了物镜下的样本，部分光线反射进入物镜，通过显微镜内部的镜片组传入观察者的眼睛。海森堡希望直接观察电子，但光却无法照亮这些小家伙，因为可见光的波长太长。这就像用渔网捕捞尘埃，结果必然是一场空。

为了获得更高的分辨率，海森堡构思了新的显微镜，他希望用γ射线来取代光波，充当传递图像的介质。γ射线的性质和光波相似，但它的波长要短得多，这意味着显微镜可以达到极高的分辨率。通过

这种方法，我们或许能够直接观察电子，找到它们的确切位置。

问题

-

但是，γ射线携带的能量比可见光大得多——所以当它照射到电子上的时候，必然会对电子施加一个作用力，使电子飞向某个未知的方向。如果海森堡想精确地测量电子的位置，他就必须使用能量更高的γ射线，于是电子受到的力也会变大。

换句话说，对电子位置的测量越精确，那么电子的运动速度和方向受到的干扰就越大。反过来说，对电子运动轨迹的测量越精确，那么它的位置就越不精确。

虽然这个想法来自测量电子位置的思维实验，但海森堡知道，这种不确定性与测量方法无关，它是量子世界的内在属性。



1927年2月23日，海森堡给自己的朋友沃尔夫冈·泡利写了一封信，解释了自己的想法。也就是在那一年，他用数学方法证明了这种不确定性，并发表了一篇完整的论文。这套理论被称为“海森堡不确定性原理”，后来它成了量子力学哥本哈根诠释的基础理论之一。

再也不一样了

-

不确定性原理听起来似乎无足轻重，但哪怕是从最保守的角度来说，它也改变了整个物理学的面貌。在此之前，从理论上说，如果知

道某个粒子在某个时刻的确切位置和运动轨迹，那么你就能预测它在未来任意时间的位置。在艾萨克·牛顿构建的宇宙里，一切都是确定的。

但海森堡不确定性原理改变了这一切，他证明了我们不可能同时知道粒子的位置和轨迹。

幸运的是，这套理论只适用于量子力学的领域。我们的“真实”世界也同样存在不确定性，但它的影响很小，无法测量，也不必在意。牛顿力学将人类送上了地球，在这个令人安心的理论框架下，你还能继续开车，而要是运气和技术都够好，你也能接住迎面飞来的棒球。

1927—1929

研究人员：

亚历山大·弗里德曼

乔治·亨利·约瑟夫·爱德华·勒梅特

爱德文·哈勃

研究领域：

宇宙学

结论：

宇宙从大爆炸开始，随后以越来越快的速度膨胀

宇宙为什么会膨胀？

宇宙蛋

1922年，俄罗斯彼尔姆国立大学教授亚历山大·弗里德曼在德国发表了一篇复杂的论文，他在文中提出，宇宙可能在不断膨胀。

比利时的天主教神父亨利·勒梅特也独立得出了类似的结论，1927年，勒梅特发表了一篇题为《质量固定的匀质宇宙半径增大导致河外星云径向运动》的论文，在这篇文章中，他提出了所谓的“哈勃定律”，并估算了哈勃常数。

爱因斯坦的怀疑

-

爱因斯坦对勒梅特的数学计算很感兴趣，但他并不相信宇宙正在膨胀。勒梅特回忆，当时爱因斯坦表示："Vos calculs sont corrects, mais votre physique est abominable."（"你的计算是对的，但物理方面却错得离谱。"）

1931年，勒梅特在《自然》杂志上发表了一篇论文：

> "我不禁想到，根据目前的量子理论，宇宙之初的自然规律可能与现在大不相同。从量子理论的角度来看，热力学定律可以用下面的方式表达：（1）恒定总量的能量以离散量子的形式分布。（2）离散量子的数量总在不断增长。如果沿着时间的维度向前回溯，我们一定会发现量子的数量越来越少；直到最后，宇宙中的所有能量可能全部包含在几个甚至一个量子里。"



勒梅特提出，宇宙是从一个点开始膨胀的，然后他谈到了"创世时刻的宇宙蛋爆炸"。后来在一档广播节目中，不相信宇宙膨胀的英国天体物理学家弗雷德·霍伊尔不屑一顾地将勒梅特的观点称为"大爆炸理论"，于是这个名字流传到了今天。

爱因斯坦逐渐开始认同勒梅特的理论。在加利福尼亚听了勒梅特的一场演讲以后，爱因斯坦说："这是我所听过的关于宇宙起源最美、最完善的解释。"

进入美国

-

年轻的爱德文·哈勃在伊利诺伊和肯塔基长大，为了满足父亲的愿望，他选择了法律作为自己的专业；作为首批罗德学者，他还曾前往牛津大学进修。但哈勃真正热爱的是天文学，父亲去世以后，他终于回归了自己深爱的领域。

第一次世界大战结束后，哈勃在英国剑桥待了一年，然后他在加州帕萨迪纳的威尔逊山天文台找了一份工作。接下来，他的一生都将在这里度过。

哈勃研究的是一种名叫造父变星的特殊星体，它存在于多个星云之中，其中包括仙女座星云。造父变星的光芒会出现有规律的明暗变化，变化节律可能持续数天。这种星体特别有趣，因为它们的亮度和脉动周期有极强的相关性。也就是说，根据造父变星的明暗变化，天文学家可以算出它的绝对亮度。所以，这类星星成了宇宙中的“标准烛光”。

知道了标准烛光的绝对亮度，再加上我们观察到的实际亮度，天文学家就能算出这个星体离我们到底有多远。

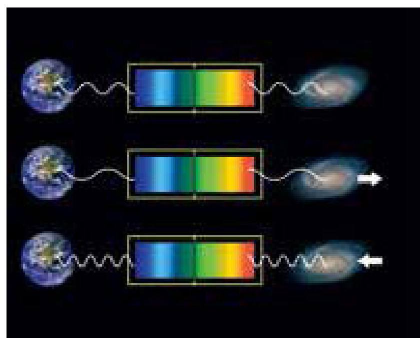
星云由尘埃或气体组成。20世纪20年代初，人们认为所有星云都是银河系内的尘埃气体云，而银河系就是整个宇宙。但哈勃的观测结果表明，有的星系与我们之间的距离比银河系里最远的恒星还要远得多——因此，这些星云实际上属于其他遥远的星系。哈勃的发现让人们突然看到，宇宙比我们想象的还要大数百万倍。

红移

-

1929年，哈勃观察到了46个遥远星系的红移。当时的人们已经知道，如果一个星系（或者一颗星星）正在朝远离我们的方向运动，

那么它释放的光会发生“红移”——也就向光谱的红色（长波）端移动。



红移

现在我们知道，星系红移是因为空间本身在不断拉伸，它造成的结果类似多普勒效应。红移越明显，星系远离我们的速度就越快。

哈勃发现，星系红移的速度大致与它离我们的距离成正比。换句话说，离我们越远的星系后退得越快。

1932

研究人员：

卡尔·戴维·安德森

研究领域：

粒子物理

结论：

除了普通的物质以外，还存在反物质

反物质真的存在吗？

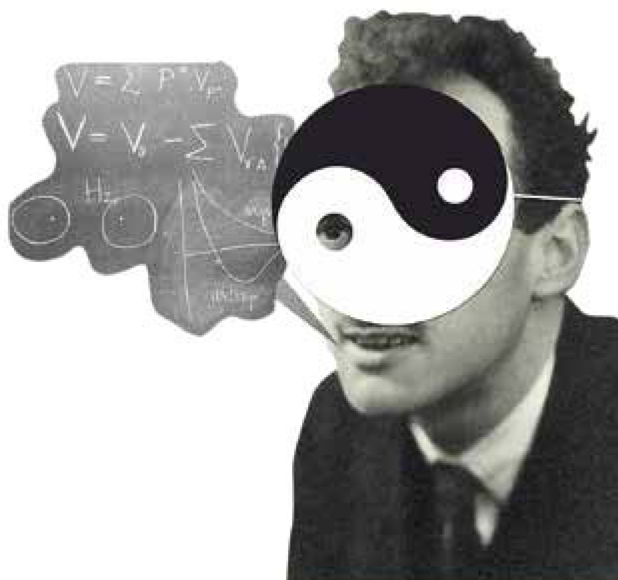
寻找正电子和负质子

有些人认为，英国理论物理学家保罗·狄拉克是艾萨克·牛顿之后最伟大的理论物理学家，他综合量子力学与狭义相对论，发展出了一套奇怪的数学架构。狄拉克描述了近光速电子的行为——然后从中发现了一些奇怪的事情。狄拉克在1928年推导的方程是为了描述带负电的电子，但它同样适用于带正电的“电子”。

狄拉克提出，不光是电子拥有带正电的对应粒子，其他所有粒子都拥有自己的“反粒子”。正如质子和电子组成了原子，反质子和反电子也会组成反原子。换句话说，他预测了反物质的存在，虽然在此之前，人类从未观察到这类事物。

狄拉克甚至认为，宇宙中可能存在一个完全由反物质构成的太阳系：

“自然界中的正电荷和负电荷是完全对称的，如果接受了这一基本观点，那么我们就会发现，地球（甚至整个太阳系）主要由带负电的电子和带正电的质子组成，这只不过是出于偶然。宇宙中的某些恒星很可能与我们的地球完全相反，它们主要由带正电的电子和带负电的质子组成。事实上，也许每种类型的星星都有一半是由反物质构成的。正物质和反物质组成的星星表现出的光谱完全相同，所以现有的天文学手段根本无法区分它们。”



因此，狄拉克提出，宇宙中可能存在反物质组成的恒星和行星。

奥地利，**1911**年—**1913**年

15年前，奥地利物理学家维克多·赫斯对大气中的电离辐射产生了兴趣。当时的人们认为，这些辐射来自地球上的放射性岩石。但是根据赫斯的计算，如果事实真的如此，那么在离地面大约1640英尺（约500米）的高空中，这些辐射就应该消失。于是他决定验证一下。

赫斯乘坐气球完成了10次高空探测，冒着莫大的风险，他发现在离地面0.6英里（约0.97千米）的高度，电离辐射的确有所下降，但很快又再次上升；在离地面3.5英里（约5.6千米）的高空中，电离辐射的强度是海平面上的2倍。于是赫斯总结说："有一种穿透能量极强的射线从上面进入了我们的大气。"

1912年4月，赫斯甚至在日食期间冒险升空，结果发现，神秘的辐射并没有随着太阳的消失而减弱，所以它的来源并不是太阳。这种神秘的辐射被称为"赫斯射线"，后来它又有了另一个更常用的名字："宇宙射线"——因为它来自外太空。无论日夜，整个地球都一直沐浴在电磁波粒的洪流之中。

加州理工学院，**1932**年

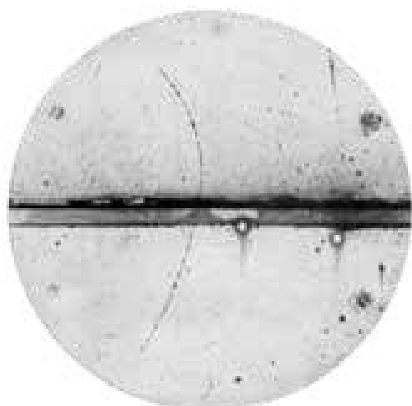
-

卡尔·安德森在加州理工学院学习物理学和工程学。1932年，他开始利用改进后的云室研究宇宙射线。他使用的云室后来被人们称为"安德森云室"。

1932年8月2日，安德森利用垂直的威尔逊云室拍摄宇宙射线轨迹时发现了一条古怪的痕迹，它只可能来自某种质量与自由负电子相当的带正电荷的粒子。

下图就是安德森在云室中拍摄的那张重要照片，照片中央是一道0.24英寸（约6毫米）厚的铅板。宇宙射线从照片下方进入云室，随后在强磁场的作用下向左偏转，这证明它携带正电荷；如果这道射线携带的是负电荷，那它就应该向右偏转。然后，粒子穿过铅板进入云室上半部分，能量略有损失——所以它偏转得更厉害了。穿透铅板之后，这个粒子又穿过了2英寸（约5厘米）厚的空气，这说明它的体积

很小——质子绝不可能飞行这么远的距离。



安德森云室
长5.5英寸（约14厘米）
深0.4英寸（约1厘米）

这个研究任务并不轻松。安德森拍摄并检查了1300张照片，结果只发现了15道类似的正电宇宙射线轨迹。

> “因此可以得出结论，正电子的质量很可能与自由负电子完全相等。”

反物质

-

如果反粒子与自己的对应正粒子发生碰撞——例如电子与正电子碰撞——它们会彼此湮灭，释放出γ射线。显然，宇宙中并不存在由反物质组成的大片区域，因为我们并未观察到正反物质湮灭释放的巨量γ射线。大爆炸产生的正物质为何远远多于反物质？这是宇宙学中最大的谜团之一。

1933

研究人员：

弗里茨·兹威基

研究领域：

宇宙学

结论：

我们能够看见的星星只占宇宙质量的极小一部分

引力如何构建银河系？

暗物质与看不见的宇宙

弗里茨·兹威基是有史以来最伟大的天体物理学家之一。这位性情乖僻的天才提出，宇宙中存在大量看不见的物质。那么他是怎么发现这一点的呢？

1898年，兹威基出生在保加利亚，他的父亲是个瑞士人，母亲则来自捷克。6岁时，兹威基被送到瑞士的祖父母家里学习商务，但他很快放弃了这条道路，转而开始学习数学和物理。1925年，兹威基移民到了美国，他来到加州理工学院，和罗伯特·密立根一起工作。在这里，他对天文学、天体物理学和宇宙学产生了兴趣，也在这个领域做出了极大的贡献。

超新星和中子星

-

20世纪30年代初，兹威基开始和德国天文学家沃尔特·巴德一起研究“新恒星”。兹威基认为，宇宙射线来自恒星的剧烈爆炸，他称之为“超新星爆发”。接下来的52年里，兹威基和巴德发现了120颗超新星。超新星爆发的现象不算新鲜——早在1572年，第谷·布拉赫就曾观测到超新星爆发——但在此之前，还没有任何人对此做出合理的解释。

1933年，兹威基提出，一般而言，大质量恒星在生命终结时会发生剧烈的爆炸，由此产生大量可见光和宇宙射线。恒星爆炸后的残骸密度极大，所有的质子和电子会挤在一起，转化成中子，最终形成的中子星体积很小，直径可能只有几英里，但密度大得超乎想象。当时距离中子的发现才刚刚过去了一年，谁也不相信兹威基的理论，直到1957年，约瑟琳·伯奈尔发现了脉冲星。

兹威基拥有卓越的头脑，他尤其擅长横向思考。在他去世以后，天文学家史蒂芬·莫勒写道：“只要谈到中子星、暗物质、引力透镜之类的话题，所有研究者的开场白总是千篇一律：‘早在20世纪30年代，兹威基就注意到了这些问题，但当时谁也不相信他的话……’”

星系的质量到底有多大？

-

1932年，荷兰天文学家扬·奥尔特提出，根据恒星的运动轨迹推算，银河系中存在的物质肯定比我们能够观察到的要多得多。但是后来人们发现，他的测量结果是错的。

1933年，兹威基首次运用维里定理计算了3.2亿光年外的后发座星系团的质量。维里定理描述了星系的轨道速度和它受到的引力之间的关系，“维里（virial）”这个词来自拉丁语里的“vis”，意思是“力”。

1870年，德国物理学家鲁道夫·克劳修斯首次提出了这个定理。

兹威基观察了星系团边缘的星系运动，并利用这些数据来估算整个星系团的总质量。然后，他又根据这些星系的亮度算出了另一个总质量数据。

结果，兹威基发现，前者的计算结果大约是后者的400倍。我们能够观察到的物质质量完全不足以支持星系做如此高速的轨道运动，这中间似乎缺了点儿东西。根据这个“看不见的质量问题”，兹威基推断，星系团中一定存在大量看不见的物质，他称之为“Dunkle Materie”，即“暗物质”。



神秘物质

-

实际上，兹威基的估算误差很大，但“看不见的质量问题”的确存在，现在，天文学家已经找到了足够的证据来支持他的观点。在大部分星系中，恒星的轨道速度都远大于可见的物质质量能够支持的程度，这样看来，大部分星系内都存在一个大体均匀的暗物质球，可见的恒星位于中央的碟状区域中。



科学家对引力透镜（这种效应也是兹威基在1937年首次提出的）的观测证实了星系中的确存在额外的质量：不管可见还是不可见，一大团密集的物质扭曲了时空，远处的天体看起来就像隔了一个透镜，出现了变形和扭曲。有时候我们会发现，可见物质的质量根本不可能形成这么强的引力透镜。

20世纪60年代末和70年代初，薇拉·鲁宾测量了螺旋星系内恒星的轨道速度，结果发现，大部分恒星绕轨运行的速度相同，但远离星系中心的恒星绕轨速度却要慢得多。这意味着星系中央的质量密度大致保持均匀，但是，这个“均匀质量”的范围却远远超过了中央密集恒星团的界线，大部分星系的质量至少要达到其内部可见恒星总质量的6倍以上，才能解释天文学家观察到的现象。

而在我们的银河系里，暗物质的数量大概是可见物质的10倍左右。2005年，来自威尔士卡迪夫大学的天文学家宣称他们发现了一个质量只有银河系十分之一的星系，它完全由暗物质组成。

现在，科学家普遍认为，暗物质构成了整个宇宙的27%，而宇宙的其余部分主要由暗能量构成。

1935

研究人员：

埃尔温·薛定谔

研究领域：

量子物理

结论：

两种可能性同时存在

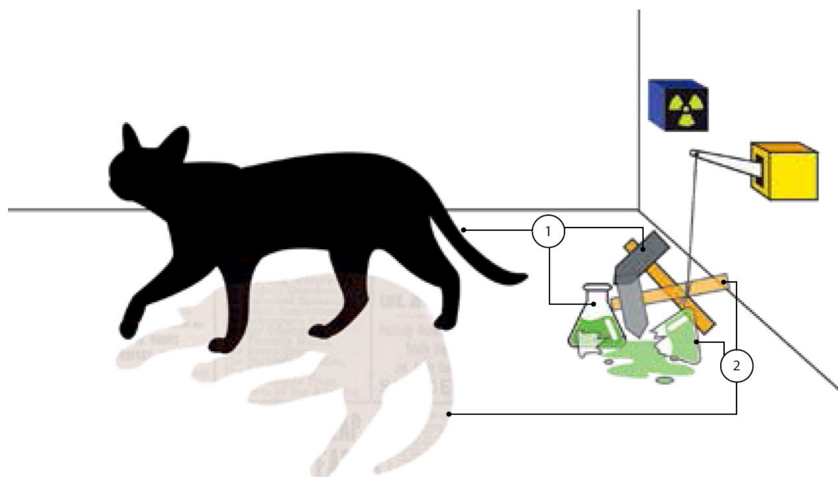
薛定谔的猫是死还是活？

量子力学悖论

一只猫如何能够同时既死又活？1935年，奥地利物理学家埃尔温·薛定谔提出了这个颇富哲学意味的问题。在此之前的15年里，诸多理论物理学家和数学家一直在完善量子力学的框架细节，哥本哈根的尼尔斯·玻尔和维尔纳·海森堡是这幢大厦的首席建筑师，他们建立的理论后来被称为量子力学的哥本哈根诠释。但薛定谔认为，哥本哈根诠释应用于宏观物体时会出现一个问题。

玻尔和海森堡曾提出过一套“量子态叠加”理论。如果某个粒子（或者某个光量子）拥有两种可能的状态或位置，但我们无法确认它到底处于哪种状态（或位置），那么按照量子态叠加理论，在被观测到之前，它同时拥有两种状态（或位置）。一旦被观测，它会立即坍缩成一个态。所以，只有观察者才能将粒子固定在某个可能的状态下。

薛定谔不喜欢量子态叠加的主意，所以他通过思维实验提出了一个悖论。



并没有猫受到伤害……

-

假如有一只猫被关在一个铁盒子里，无法逃脱。除了这只猫以外，盒子里还有少许放射性物质、一台盖革计数器和一瓶致命的氰化物毒素。如果放射性物质的某个原子发生了衰变，那么盖革计数器会探测到它的衰变并激活开关，推动一把锤子敲碎瓶子释放毒素，导致猫死亡。

放射性原子的衰变完全无法预测。盒子里的放射性物质可能下一秒就会衰变，也可能一年都不会衰变。因此，既然谁也看不到盒子里的情况，那么半小时以后，谁也说不清里面的放射性元素到底有没有发生衰变。根据量子态叠加理论，这些原子同时处于衰变和未衰变的状态。

观察者的重要性

-

但是，这也意味着盒子里的猫既是死的，又是活的——除非有观察者打开盒子，确定最终的结果。薛定谔表示，这毫无道理，量子态叠加理论在真实世界里显得如此荒谬。他写道，这个悖论“使得我们无法接受用这种‘模糊的模型’来代表现实。虽然就这套理论本身而言，它没有任何不清楚或矛盾的地方”。

有人反驳说，那只猫也算是观察者，它应该知道原子是否发生了衰变——如果它还活着。

尼尔斯·玻尔本人却认为观察者的出现并无必要，他觉得在观察者打开盒子之前，猫的死活早已确定。他指出，猫的死活是由盖革计数器决定的，所以事实上，这个计数器充当了观察者的角色。这种解释是不是更合理呢？但阿尔伯特·爱因斯坦却并不认可。1950年，爱因斯坦给薛定谔写了一封信：

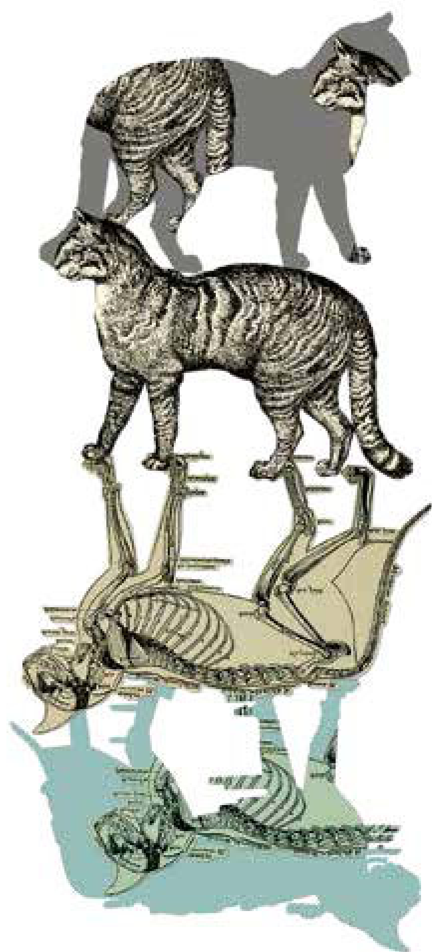
> “如果一个人足够诚实，他就无法逃避对‘真实’的设想……在当今的物理学家中，只有你做到了这一点。大部分人根本不明白自己正在对‘真实’玩弄多么危险的把戏——他们以为真实是纯然的理论假设，与实验得出的结果完全无关。但是，你用放射性原子＋……[原理]……＋盒子里的猫……以最优雅的方式驳斥了他们的诠释。谁也不会真正质疑这一点：猫的存在或不存在与观察行为全然无关。”

多世界

-

后来，量子力学模型引入了新的想法。1957年，休·艾弗雷特提出了“多世界诠释”，根据这套理论，两种可能性都是真的，确切地说，无论过去还是未来，所有可能性全都真实存在。艾弗雷特认为，

存在很多很多个宇宙，每一种可能性都曾真实地发生过，只是它们各自存在于不同的宇宙中。按照多世界诠释，薛定谔的盒子打开的一刹那，观察者和猫就各自分裂成了两个。在其中一个宇宙里，观察者看到猫还活着，而在另一个宇宙里，它已经死了——但这两位观察者永远无法见面，也不能交流。



薛定谔的猫成了举世皆知的明星，关于它的争论从来就不曾停歇——它是量子力学领域里知名度最高的动物。

1939

研究人员：

利奥·西拉德

恩里科·费米

研究领域：

核物理

结论：

核反应会产生能量

怎样利用核物理知识造出原子弹？

第一座核反应堆

1933年，匈牙利物理学家利奥·西拉德在英国访问时在《泰晤士报》上读到了当时的原子物理大佬欧内斯特·卢瑟福发表演讲的消息。卢瑟福在演讲中否认了通过核反应获取能量的可能性：“……一切试图从原子转化中获取能量的努力都是空中楼阁。”

可怕的想法

-

西拉德很不赞同卢瑟福的说法。特别是在9月12日那个阴霾密布的清晨，西拉德漫步在伦敦布卢姆茨伯里街区，想到卢瑟福的演讲，他感到心烦不已。西拉德在大不列颠博物馆附近的南安普顿路街口停

下来等红绿灯，就在绿灯亮起的那一刻，一个可怕的想法突然闯入了他的脑海：假如能用新发现的中子启动某个反应——让一个原子产生两个中子，那么这两个中子又将启动另外两个原子发生反应，从而释放出四个中子，一生二，二生四，四生八……最终形成链式反应。



正如理查德·罗兹在《原子弹秘史》中所说："就在他穿越街道的那个瞬间，时间裂开了一条细缝，他看到通往未来的道路充满死亡与悲伤，世界将变得不复以往。"

意大利天才

-

恩里科·费米生于罗马，他是物理学界一颗冉冉升起的新星，在理论和实验两方面都颇有建树。1938年，费米获得了诺贝尔物理学奖，因为他用中子轰击重原子，制造出了新的元素。不幸的是，后来人们发现，费米制造出来的其实并不是什么"新元素"，而是反应产生的放射性碎片。费米有些羞愧，但他依然自信满满。

1939年，战火越烧越烈，为了躲避纳粹和法西斯政权，西拉德和费米都移民到了美国。两位科学家意识到，德国科学家可能正在制造原子弹，于是他们给罗斯福总统写了一封警告信，并邀请爱因斯坦共同署名。

临界质量

-

与此同时，其他科学家已经发现，铀原子衰变时会释放出2个或3个中子，而一个慢中子可以引发另一个铀原子衰变。既然如此，我们就能利用铀原子的这种特性制造真正的原子核链式反应。只要让铀元素达到临界质量（大约15千克的纯铀——它的体积只比棒球大一点点），衰变释放的中子就足以引发下一步的衰变——从而形成一发不可收的链式反应。

费米和西拉德开始建造世界上的第一座核反应堆。他们齐聚芝加哥大学，打算在郊外的红门森林建造反应堆，因为那里比较安全。但是因为一场罢工，这个计划流产了。最终，科学家在一座废弃的体育中心的地下壁球场里建造了“芝加哥1号堆”（CP1），虽然这里人迹罕至，但毕竟还是大城市的核心地区。



这样的实验非常危险。根据西拉德、费米和其他科学家的计算，核反应应该能够按照计划启动和停止，但要是有什么地方出了差错，整个芝加哥都将毁于一旦。但是，当时美国已经陷入了战争的泥潭，

这样的冒险或许是值得的。

芝加哥1号堆

-

核反应堆由球状的铀和石墨块组成。费米发现，铀原子衰变释放的中子速度太快，无法引发链式反应。石蜡和水能将中子减速到近乎静止的状态，因为中子会与这些材料里的氢原子发生碰撞。石墨的减速效果更好，它可以恰当地减缓中子的速度，提高链式反应的效率。

科学家还需要想个办法来减缓乃至阻止已经开始的链式反应，所以他们用镉和铟制作了一套控制棒，随时准备插入堆芯。镉和铟会吸收中子，从而减缓甚至阻止核反应。

反应堆装配完成时，控制棒是插在堆芯里的。1942年12月2日下午3:25，科学家抽出控制棒，CP1达到临界状态，史上第一次可控核反应开始了。28分钟后，费米关掉了反应堆。

后来，人们拆掉了这座反应堆，把它搬到了红门森林，并将它改名为CP2；阿贡国家实验室最早就是在这里建立的。接下来费米前往洛斯阿拉莫斯，成了曼哈顿计划的领头人。1945年，他在阿拉莫戈多沙漠亲自测量了第一次原子弹试验产生的能量。

6．跨越宇宙：1940—2009

在本书的前几章中，我们总是看到科学家孤军奋战，各自设计制作自己的实验设备。随着研究工作变得越来越困难，需要的费用也越来越高昂，科学家逐渐聚集到一起，开始建立大型实验室。大科学时代就此拉开帷幕。

我们不妨看看环磁机的发展——这种仪器外形类似甜甜圈，用于研究核聚变。早在“冷战”时期，苏联就已经秘密制造出了最早的环磁机；随后这项技术继续发展，直到英国的欧洲联合环状反应堆（JET）制造出了太阳系内温度最高的等离子体，但是没过多久，规模庞大的ITER项目又让JET相形见绌。

超广角寻找行星计划（Super WASP）很好地体现了科学家的奇思妙想和计算机强大的运算能力，不过要说人类的骄傲，那还得数大型强子对撞机（LHC），它是迄今为止人类建造的最大、最复杂的实验设备。

1854年，路易·巴斯德曾说：“在观察的领域里，机会总是垂青有准备的头脑。”1965年，我们幸运地发现了大爆炸留下的余韵；两年后，苏珊·约瑟琳·贝尔又发现了脉冲星，这也许同样是因为幸运——或许是幸运和坚忍各占一半。这些发现推动了物理学界对黑洞的探索。

1956

研究人员：

伊戈尔·叶夫根耶维奇·塔姆

安德烈·德米特里耶维奇·萨哈罗夫

研究领域：

核物理

结论：

核聚变也许会在未来实现

一颗恒星诞生了？

环磁机的发展

从20世纪50年代起，人类就开始使用核裂变反应堆发电，但迄今为止，核能仍是一种昂贵的能源，而且核裂变的原材料和反应后的废料都具有放射性，所以核能发电存在几个问题：反应堆可能出现故障甚至熔化，海啸引起的洪水可能破坏反应堆，核电厂还有遭受恐怖袭击的风险。此外，放射性废料的长期处置也是个难题。

核聚变或许可以帮助我们解决这些问题。

聚变和裂变

在裂变过程中，重原子（例如铀原子或钚原子）分裂产生较轻元素的原子、微粒和大量能量。

而聚变则是两个小原子（例如氢原子）聚合形成更大的原子（例如氦原子）。与裂变相比，核聚变有几个优势。首先，聚变系统不会过热熔化，因为无论何时，参与反应的物质总质量都不会超过1克，所以即便这些材料达到了极高的温度，它们产生的总热量也很小——完全不足以熔化金属和陶瓷隔墙。

其次，聚变废料的处理也比较简单，因为它们没有放射性，而且聚变反应产生的能量是裂变的一千倍左右。

太阳——和其他所有恒星——的能量都来自氢原子聚合成氦的聚变反应，所以，我们要做的就是在地球上制造一颗恒星。不过，无论是从物理学还是从工程学的角度来说，人工聚变都很难实现。人们总在说，聚变反应堆离我们只有30年——这话已经说了好几十年——但科学家仍在不断尝试。

先驱

-

最早尝试人工聚变实验的是苏联的科学家，但迄今为止，我们仍不知道他们的详细实验情况，因为当时正值“冷战”期间，什么事情都要保密。我们只知道，有位名叫列夫·阿齐莫维奇的物理学家曾为苏联的原子弹小组工作。从1951年到1973年阿齐莫维奇去世，他一直是苏联聚变能项目的负责人。

在他的领导下，苏联的科学家完成了世界上最早的人工核聚变反应。别人问阿齐莫维奇热核反应堆何时能投入实际应用，他回答说：“等到人类需要的时候，或许比那再早一点。”这位苏联科学家被称为“环磁机之父”。



环磁机是专为核聚变反应设计的容器。“tokamak”这个词实际上是由首字母缩写组成的，它的原始俄语意思是“配备磁力线圈的环形室”。想象一个充满了气的橡胶圈或者汽车轮胎，环磁机的反应室就是这个形状的。

伊戈尔·叶夫根耶维奇·塔姆和安德烈·德米特里耶维奇·萨哈罗夫设计了最早的环磁机，1956年，苏联人在莫斯科的库尔恰托夫研究所造出了这台装置；1968年，他们又在新西伯利亚首次成功完成了聚变反应，得到了大约1800万华氏度（约1000万摄氏度）的高温。在那之后的第二年，英国和美国的物理学家确认了苏联人的这次实验。

目前，全球共有30台环磁机分布在16个国家里。迄今为止最大的环磁机是英国卡拉姆的欧洲联合环状反应堆（JET），它的环形室大得能让成年人在里面轻松漫步。

1983年6月25日，JET首次成功生成等离子体；1997年，它制造出了16兆瓦的聚变能，虽然持续的时间还不到1秒，但JET消耗的能量比它产出的还多，所以它永远也不会变成商业性的发电厂。

等离子体

-

要让氢原子聚合形成氦原子，我们必须设法让氢原子达到极高的

速度，这样它们才能携带巨大的能量发生碰撞。要加速氢离子，必须将它们加热到极高的温度——比如说，1.8亿华氏度（约1亿摄氏度）。

在这样的高温下，氢会从气体变成等离子体。这意味着氢分子（H_2）会分裂成原子（H），然后电子会从原子中剥离出来，只剩下质子（氢离子，H^+）与自由电子一起做高速运动。这两种粒子都携带电荷，因此可以被“磁瓶”约束。



如果这些粒子与容器壁发生碰撞，它们就会失去很多能量，可能

还会对容器造成严重的破坏，所以必须用强磁场对它们进行约束。磁场来自环磁机内的环形线圈，这些线圈制造出螺旋状的强磁场，也就是我们所说的“磁瓶”，它能够约束氢原子，避免高能粒子与容器壁发生碰撞。

聚变反应产生的能量主要由反应室夹层中的冷却水来吸收，也可以由反应中生成的中子带走，或者通过直接能量转换过程，将高速运动的带电粒子直接转换成电流。人们可以利用这些能量将水转化为过热蒸汽，驱动涡轮发电，这就是核聚变电站的基本原理。

1965

研究人员：

阿诺·阿兰·彭齐亚斯

罗伯特·伍德罗·威尔逊

研究领域：

宇宙学

结论：

现在我们看到了宇宙年轻时的模样

大爆炸留下了余韵吗？

发现宇宙微波背景辐射

阿诺·彭齐亚斯在获得物理学博士学位以后，去了新泽西霍姆代尔的贝尔实验室，与得克萨斯的物理学家罗伯特·威尔逊成了同事。

当时他们使用一台50英尺（约15米）的喇叭形高灵敏度微波天线（接收器）研究星系间的无线电信号。

无线电噪声

-

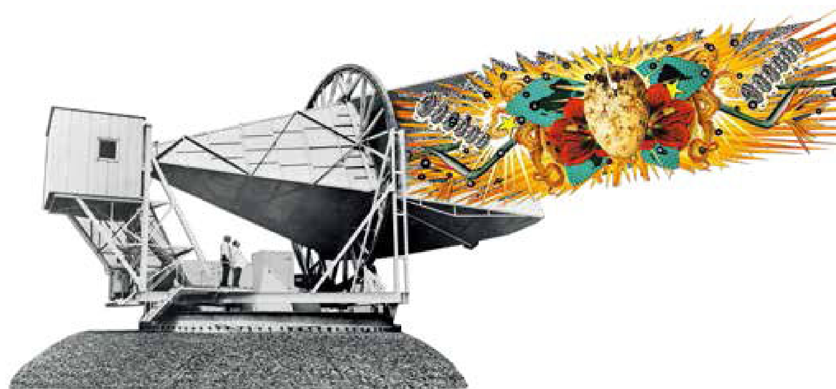
打开天线以后，他们听到了一种无法解释的无线电噪声——那是一种低沉的嗡嗡声。他们知道，要想探测来自宇宙的微弱信号，必须

设法消除这种噪声。

两位科学家排除了所有电视和广播信号的干扰，然后用液氦将天线冷却到了4K（-452℉或-269℃），试图消除温度可能带来的影响。但奇怪的噪声依然没有消失。

最开始他们觉得噪声一定来自纽约——汽车火花塞之类的东西也会干扰天线——于是他们将天线对准了曼哈顿，但噪声却没有增加丝毫。他们意识到，这奇怪的声音一定来自天上。

两位科学家怀疑辐射来自银河系，但河内噪声理应更大一些，更奇怪的是，永不停歇的嗡嗡声似乎来自四面八方，无论将天线指向天空中的哪个位置，它都不会消失，也不会改变。



鸽粪

-

当然，他们想到了噪声的来源也许就在身边——甚至可能就在接收天线内部。于是他们检查了设备，结果发现了一种“白色的绝缘材料”——换句话说，他们找到了一些鸽粪。也许噪声正是这些东西造成的。两位科学家清除了鸽粪，又对鸽子窝进行了一次大扫荡。

但奇怪的嗡嗡声依然挥之不去。

与此同时，在37英里（约60千米）外的普林斯顿大学，罗伯特·迪克、吉姆·皮布尔斯和大卫·威尔金森刚刚开始寻找这类微波辐射，他们推测，它可能来自大爆炸。彭齐亚斯的一位朋友看到了皮布尔斯的论文初稿，直到这时候，彭齐亚斯和威尔逊才如梦初醒地意识到，自己的发现有多么重要。

看到论文的副本以后，彭齐亚斯给迪克打了个电话，邀请他和同事一起来贝尔实验室看看自己的数据。彭齐亚斯和威尔逊的观察结果非常符合普林斯顿的预测——“他们抢在了我们前头。”迪克这样说。1965年，他们联名在《天文物理期刊》上发表了几篇论文。

大爆炸的余韵

-

普林斯顿小组的预测是对的，彭齐亚斯和威尔逊听到的噪声来自宇宙微波背景辐射（CMB），它是大爆炸留下的余韵。

大爆炸释放出超乎想象的海量能量，其中部分能量最终聚合形成物质。大爆炸之后的短短38万年里，宇宙变成了透明的，能量在宇宙中穿梭，看起来就像无数道连绵不绝的闪电，色温约为3000K。摄影师用“色温”来描述光的白度，773K（932℉或500℃）的光是火红的，2319K（2732℉或1500℃）色温的光是黄的，3000K （4940℉或2727℃）的光呈正白色，阳光的色温大约是5000K（8540℉或4727℃）。

然后，宇宙逐渐衰老，现在，它已经有137亿岁了。来自远古的光依然弥漫在宇宙中，但空间一直在飞速膨胀，这些光也逐渐红移（或者说冷却）到了微波波段。所以，我们现在看到的微波背景辐射是宇宙中最古老的光，它是大爆炸留下的余韵。这些微波的波长是

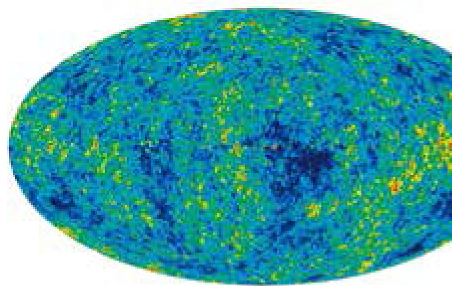
2.9英寸（约7.4厘米），大致相当于3K（十分接近绝对零度）下的黑体辐射。

这个发现为大爆炸理论提供了有力的证据。当时仍有不少人支持稳态理论，但大爆炸理论预测了CMB的存在——而彭齐亚斯和威尔逊找到了它。

宇宙年轻时的模样

-

虽然彭齐亚斯和威尔逊认为CMB是各向同性的——也就是说，在所有方向上完全一致——但实际上，它还是有微小的起伏；CMB的温度在3K上下波动，差值在千分之一度以下，但的确存在差别。这幅图实际上描绘了宇宙在38万岁时的模样，那时候距离现在足足有137.7亿年。



黄色和稀少的红色斑块代表光密度较大的区域，也就是在这些地方，物质开始聚集起来，最终形成了恒星和星系。这是我们手中最好的描绘年轻宇宙的地图。

1967

研究人员：

苏珊·约瑟琳·贝尔

研究领域：

天文学

结论：

黑洞的确存在

小绿人真的存在吗？

脉冲星和黑洞

黑洞是怎么被发现的？1783年5月26日，英国教士兼博学家约翰·米切尔给皇家学会的亨利·卡文迪许写了一封长信。他在信中描述了一种比太阳大500倍的球体：

> “如果有一个物体从无限高处向它坠落，那么在落到这个球体表面的时候，自由坠落的物体将超过光速，因此，假如光也被同样的力所吸引……这个物体释放出的所有光都会被它自身的引力吸收回去。”

换句话说，米切尔提出了黑洞的概念，这种物体的质量如此巨大，就连光也无法逃脱它的引力。

13年后，法国数学家皮埃尔-西蒙·拉普拉斯在《宇宙系统论》中

提出了同样的设想。

1915年，爱因斯坦发表广义相对论以后，人们对宇宙学产生了新的兴趣，黑洞的概念也被重新挖掘出来。德国物理学家卡尔·史瓦西为爱因斯坦的引力场方程求出了一个解，我们可以利用它来推算质点和球形天体的引力场。但是，这个解会得出一个奇怪的史瓦西半径，也就是现在我们所说的“事件视界”——物质可以进入这个球壳，但没有任何东西能从里面出来。

那么，从数学上说，黑洞应该存在，但现实世界里真的有这种东西吗？

博士研究生

-

1967年，出生于北爱尔兰的天文学家约瑟琳·贝尔正在英国的剑桥大学攻读博士学位。她的研究课题是寻找类星体，这是一种神秘的新天体。贝尔的第一个任务是把长达数英里的导线穿在木桩上，制造一个射电望远镜——“这让我学会了熟练地使用锤子。”她说。

排除了汽车和空调的严重干扰后，贝尔终于能够静下心来寻找类星体了，不久后，她发现了一个出乎意料的信号——记录数据的表格上出现了些许“浮渣”。为了寻找这些异常数据出现的原因，贝尔好几次在半夜里骑着自行车跑到6英里（约10千米）外的天文台，结果却一无所获。最后，她决定设法放大这些信号，好把它们清晰地记录下来——这些无线电脉冲以1.337秒一次的频率精确地跳动。

外星人的信号？

-

贝尔和她的导师安东尼·休伊什认为，这样有规律的信号一定是人

工生成的，但后来她发现，信号实际上来自天空中的某个固定的位置。

有一阵子，贝尔觉得那里一定存在某个外星文明，所以她将脉冲信号命名为LGM-1，也就是“小绿人1号”。然后到了圣诞节前夕，她又发现了另一个信号LGM-2，这一次脉冲的间隔是1.25秒。难道我们同时找到了两个努力对外联系的外星文明？



最后他们发现，脉冲信号实际上来自中子星。早在1934年就有人预测过中子星的存在，但从来没有人发现过它们。这种天体是大质量恒星坍缩形成的，它全部由中子构成。因为星体内不存在任何电子，所以它的密度极大。直径7英里（约11千米）的中子星质量可达太阳的两倍。

这些高速旋转的天体释放出的无线电束像灯塔的光一样穿越宇宙，传到了贝尔的望远镜里，后来我们将它们命名为“脉冲星”。贝尔发现了最早的4颗脉冲星，后来科学家又发现了2000多颗脉冲星。

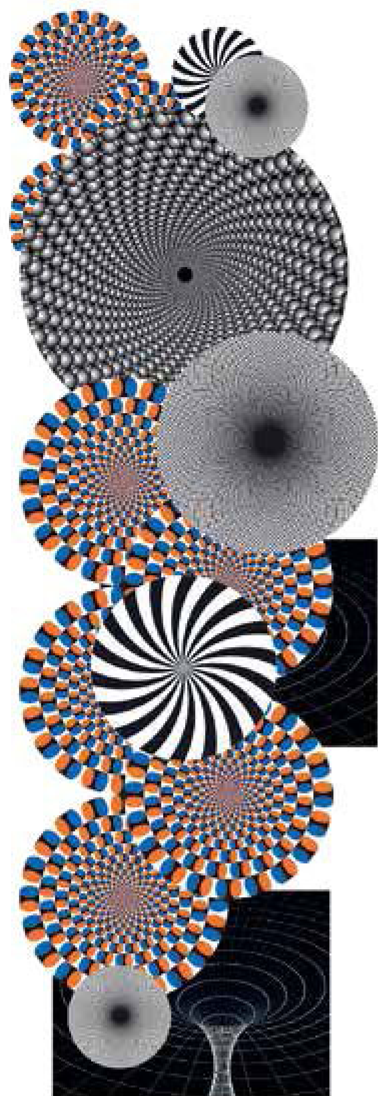
1974年，安东尼·休伊什获得了诺贝尔奖，但约瑟琳·贝尔却没有得到这份荣誉。

那么黑洞真的存在吗？

-

发现中子星以后，人们重新燃起了对黑洞的兴趣，因为现在天体物理学家已经确认，引力坍缩的确有可能发生。我们无法直接观察到黑洞，因为它们不会释放任何光线，不过史蒂芬·霍金指出，黑洞会释放一种非常微弱的红外信号。无论如何，黑洞都会对周围的天体产生影响，比如说，有的恒星会围绕黑洞旋转，我们可以通过这些迹象间接发现它的踪迹。

甚至有这样的可能性：每个星系中央都有一个巨大的黑洞，包括我们的银河系。对银河系中心附近90颗恒星轨道的观测结果表明，银河系中央黑洞的质量应该是太阳的260万倍。



宇宙中似乎存在几种尺寸的黑洞：有的黑洞个头很小，质量和月球差不多；有的略微大一些，质量和太阳差不多；还有巨型黑洞，它们的质量是太阳的数百万倍。黑洞似乎是质量极大的恒星坍缩形成的，较小的恒星会坍缩形成中子星，但有的恒星质量太大，巨大的引力会进一步将中子压缩成一个质点，我们称之为“奇点”。

1998

研究人员：

索尔·珀尔马特

亚当·里斯

布莱恩·P.施密特

研究领域：

宇宙学

结论：

宇宙正在以越来越快的速度膨胀

宇宙正在加速膨胀吗？

我们孤独的未来

今天我们知道，引力是唯一作用于宇宙中所有星系的力，虽然远距离的引力非常微弱，但它却顽固而执着。引力最终会将所有物质重新聚集起来，所以宇宙的膨胀应该逐渐减缓，直至逆转，宇宙从大爆炸开始，最终将以大坍缩结束。可是，事实果真如此吗？

1998年，索尔·珀尔马特与美国、欧洲和智利的20位同行共同发起了超新星宇宙学计划（SCP），试图确认宇宙膨胀减缓的速度，并预测大坍缩将于何时开始。

布莱恩·P.施密特和亚当·里斯是澳大利亚国立大学斯特朗洛山天文

台高红移超新星研究小组（HZT）的成员。高红移的超新星离地球非常遥远。HZT的研究目标和SCP一样，他们希望确认宇宙膨胀减缓的速度。

两个研究小组都在测量远距离星系与地球之间的距离和红移。根据哈勃定律，星系的红移与距离有关；天体离地球的距离越远，它发出的光就越偏向于光谱的红色端。来自遥远天体的光需要花费数十亿年时间才能到达地球，根据它们的距离和红移量，研究者可以算出宇宙在远古时的膨胀速度。

他们需要找到一些距离非常遥远的“标准烛光”——我们已经知道这些天体的绝对光度，再加上地球上观测到的光度，天文学家就能算出它们离我们有多远。他们选择了一种名叫“Ia超新星”的天体，如果白矮星从自己的伴星那里获得了过多的质量，就会发生爆炸，形成Ia超新星。



令人震惊的结果

-

1998年年底，两个小组发表的论文揭示了同一个令人震惊的结果。天文学家比较了这些遥远的超新星的距离和红移量，按照他们的预期，这些超新星应该遵从哈勃定律，或者比哈勃定律的计算结果运动得更快一些。

出乎意料的是，两个小组发现了同样的现象：这些天体的红移量

比哈勃定律的计算结果要小得多。这意味着在数十亿年前，超新星爆炸释放出的光离开这些天体的时候，它们的移动速度要比现在慢得多。

换句话说，宇宙一直在加速膨胀。

暗能量

-

“暗能量”又叫“真空能量”，它的效果类似轻微的负压——暗能量像真空一样将宇宙向外拉扯。



宇宙学家告诉我们，暗能量弥漫在空间中，导致星系向外加速运动，所以宇宙膨胀的速度越来越快。现在他们认为，宇宙中只有大约5%的常规物质，还有27%的暗物质，剩下的68%全都是暗能量。

1999

研究人员：

马丁·里斯

史蒂芬·霍金

布莱恩·P.施密特

研究领域：

宇宙学

结论：

宇宙中仍有很多未解之谜

我们为什么会在这里？

我们为什么会在这里？数千年来，这个问题一直困扰着哲学家和科学家。英国皇家天文学家马丁·里斯在1999年出版的著作《六个数》中定义了六个“组成宇宙‘菜谱’的基本数值……如果其中任何一个数‘不协调’，那么恒星和生命都不会存在。这样令人震惊的巧合是否意味着冥冥中真有一位仁慈的造物主？”

里斯表示，这些可能性都不对，但也许其他宇宙会拥有不同的基本常数。他们的物理定律或许与我们的截然不同；同样，他们的化学元素和原子性质也和我们不一样，那些宇宙中或许根本不存在能够演化出生命的小分子。今天的人类只有在所有基本常数都“正确无误”的宇宙里才能演化出来。

史蒂芬·霍金和列纳德·蒙洛迪诺在《大设计》一书中将宇宙比作沸水中的气泡。无数小气泡在沸腾的水中即生即灭，就像那些存在时间极其短暂，根本来不及形成恒星和星系（更别说智慧生命）的宇宙。但是，有些气泡却留存下来，它们在水中上升，不断膨胀，最后终于浮上水面，释放出蒸汽——这代表演化中的宇宙。



人择原理

-

我们的宇宙刚好正适合我们，这就是所谓的“人择原理”。按照强人择原理，宇宙以某种方式被迫形成了能让人类演化至今的样子。而弱人择原理的一个流派则认为，在所有可能的宇宙中，我们只是居住在这个所有参数——也就是里斯提出的“六个数”——都正确的宇宙里而已。

1973年，布兰登·卡特首次提出了“人择原理”这个词，但类似的思想早已经出现。1904年，阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士曾经写道：

> “我们周围的宇宙如此广袤而复杂，或许必须要有这样的宇宙……才能创造出每一个细节都精确无误的世界，让生命有序地

发展，最终孕育出人类。”

“正确”的宇宙从哪里来？

-

里斯打了个比方，你走进一家大型服装店，发现他们库存丰富，款式繁多，所以你总能找到适合自己的那一件。同样，如果大爆炸也不止发生了一次，而是很多次，那么其中某一次大爆炸正好产生了一个所有参数都适合我们的宇宙，这似乎也很合理。所以，在我们的宇宙之外，或许还有数十、数百甚至数百万个其他的宇宙。

量子世界

-

光子似乎能够同时穿过两条狭缝，沿两条路径传播。理查德·费曼提出，这是因为在量子世界里，光子没有确定的路径，恰恰相反，它会沿着所有可能的路径传播。所以在宇宙诞生的那一刻，它或许也会走上所有可能的道路，创造出多个不同的宇宙，其中大部分都迥异于我们的这一个。

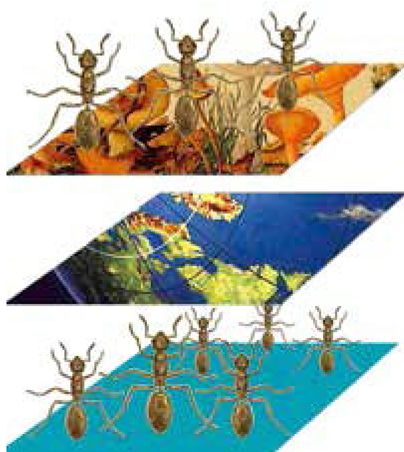
这听起来很像是休·艾弗雷特的量子力学“多世界诠释”。如果薛定谔的猫在一个世界里已经死去，而在另一个世界里却还活着，那么宇宙或许真的不止一个——但这意味着观察者在打开盒子的刹那创造出了一个新的宇宙。

此外，我们自己的宇宙就已经辽阔得超乎想象了。我们的银河系拥有2000亿颗恒星，其中大部分恒星都拥有行星。除了银河系以外，宇宙中至少还有其他1000亿个星系，每个星系中都有无数恒星，它们很可能也拥有行星。如果这一切都是为了我们而创造出来的，那可真是够多的，观察者仅仅打开了一个盒子，就能创造出这么多东西吗？

如果真的存在其他宇宙，为什么我们看不到它们？

-

一群蚂蚁在一张二维的纸上忙忙碌碌，它们或许不会知道，就在自己头顶几英寸外还有另一张纸，上面居住着另一群蚂蚁。上面这张纸就是另一个宇宙，它通过三维的空间与另一张纸隔离开来，下面的蚂蚁无法爬上头顶的那张纸。



同样，其他宇宙或许也存在于另一个维度上，所以我们完全无法接触。它离我们也许只有咫尺之遥，但我们却对此一无所知。“M理论”是一套复杂的物理学理论，这套理论提出，一共存在11个维度——足以容纳其他宇宙。

从另一个方面来说，既然我们无法与其他宇宙发生任何互动，那么为什么要假设它们存在呢？按照奥卡姆剃刀原理，无论面对什么现象，我们都应该寻找最简单的解释，所以，或许我们应该彻底抛弃这些虚幻的宇宙。

2007

研究人员：

唐·波勒等人

研究领域：

天文学

结论：

我们的银河系里有很多适合居住的系外行星

我们是宇宙中唯一的智慧生物吗？

广角寻找行星计划和超广角寻找行星计划

1995年10月6日，在法国东南部的上普罗旺斯天文台工作的瑞士科学家米歇尔·梅耶和迪迪埃·奎洛兹宣布，他们发现了另一个太阳系里的一颗行星。它的正式名称叫“飞马座51b”。

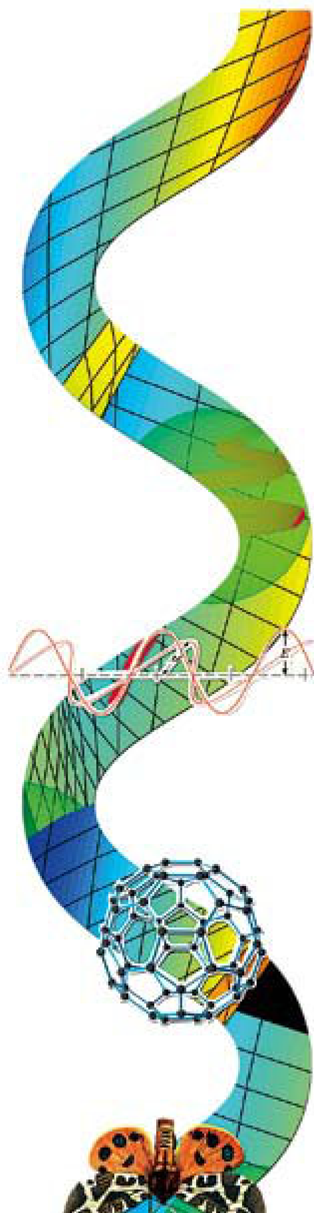
这是人类发现的第一颗围绕常规恒星运行的系外行星。

宇宙中还有其他生命吗？

-

确认了系外行星的确存在以后，天文学家立刻开始积极地寻找其他行星。如果我们在宇宙中并不孤单，那么其他类似地球的行星上或许也存在生命。

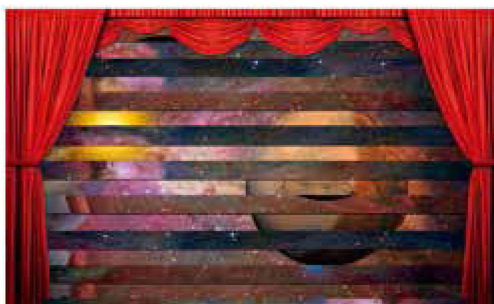
然而，“行星猎人”面临的最大问题在于，行星不会发光。我们很容易看到恒星，但行星既小又暗，而且常常被恒星的光芒掩盖。



遮挡星光

-

唐·波勒和爱尔兰北部贝尔法斯特女王大学的同行找到了一种简单的搜索方法。他们推测，宇宙中可能有很多系外行星，其中某一颗在公转轨道上运行时偶尔会从恒星前方经过，挡住一部分星光。所以，如果我们观察到某颗恒星的亮度出现了周期性的轻微变化，那么很可能就是行星遮挡造成的。



数码相机

-

这群聪明的科学家买了4个7.9英寸（约200毫米）f/1.8的佳能高科技数码镜头。在剑桥大学、加那利天体物理研究所和艾萨克·牛顿望远镜集团的帮助下，他们把这些镜头安装在西撒哈拉海滨加那利群岛拉帕尔马岛一座山顶上的玻璃纤维小屋里。他们的项目名叫“广角寻找行星计划”，简称WASP。后来女王大学和公开大学追加了资金，于是他们又买了4个镜头，并将项目更名为“超广角寻找行星计划”（Super WASP）。2002年，这个计划正式启动。

不过，他们遇到了一个小问题。佳能公司已经不再生产那种7.9英寸的镜头了，所以波勒的第二批镜头是从易贝网上买的。

8个镜头安装在同一个机械臂上，角度略有差异，以便覆盖天空中更大的范围。

恒星照片

-

8个镜头各自会拍摄2张不同曝光时间的照片，随后机械臂会移动到另一片天空，所有镜头各自再拍2张照片，如此循环，直至覆盖整片天空，然后再从头开始。

每个夜晚，所有镜头拍摄的照片加起来大约有600张，每张照片里的恒星数量多达10万颗。比对照片和天文星表，就能识别出每一颗恒星，然后他们会测量每颗恒星的亮度。最开始的几个月，研究者主要的工作是建立恒星亮度的数据库，然后他们开始寻找周期性变暗的恒星，那可能是行星凌日造成的。

如果行星的体积很大，恒星的亮度就会出现明显的变化；如果这样的变化出现得比较频繁——要是行星与恒星的距离很近，它的公转周期就比较短，所以会更加频繁地遮挡恒星——比如说每隔几天就出现一次，那么天文学家就更容易发现它。这类行星被称为“热木星”（例如飞马座51b）。热木星相当常见，但这种行星不太可能拥有生命，因为它们表面的温度太高，所以没有液态水，而且它们的引力也太大，不适合生命存活。

系外行星的盛宴

-

2007年，超广角寻找行星计划公布了他们找到的第一颗系外行星——WASP-1。这是一颗热木星，公转周期仅有2.5天。WASP-12b离恒星太近，所以它的表面温度高达2800℉（1500℃）左右，在巨大的引力作用下，它被拉成了橄榄球的形状。截至2015年，超广角寻找

行星计划一共发现了超过100颗系外行星。

或许是受到了超广角寻找行星计划的激励，2009年，NASA发射了开普勒号飞船，它将连续观测14.5万颗恒星，检测是否有凌日现象。到目前为止，开普勒计划已经发现了超过1000颗系外行星，另外还有3000颗可能的行星。



现在天文学家相信，或许大部分恒星都拥有自己的行星系统，也许单是银河系里就有110亿颗处于古迪洛克区间的岩石类地行星。当然，在这110亿颗行星中，或许某一颗上面就有达尔文所说的“温暖的小池塘”，池塘里孕育着鲜活的生命。

2009

研究人员：

彼得·希格斯和12000位来自100个国家的科学家

研究领域：

粒子物理

结论：

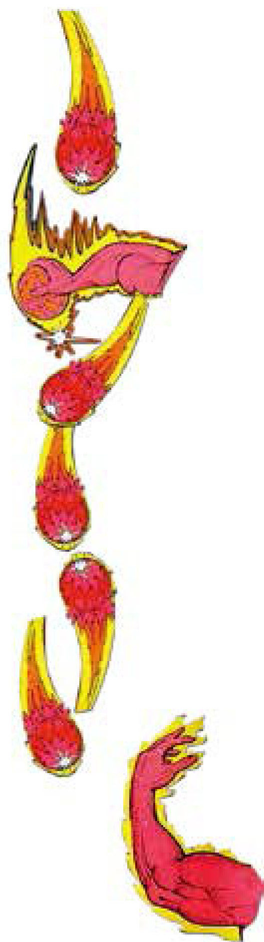
我们可能已经找到了希格斯玻色子

我们能找到希格斯玻色子吗？

大型强子对撞机

物质主要由质子、中子和电子组成，但除此以外，科学家又发现了许多更小的粒子，例如中微子和夸克。经过几十年的努力，这些粒子被统一到了一套“标准模型”里。

1964年，苏格兰爱丁堡大学的彼得·希格斯提出，标准模型内应该有一种特殊的粒子，它赋予了其他所有粒子质量。这个小家伙应该是某种玻色子——但从未有人发现过它的踪迹。



对撞机

-

运动速度越快的粒子破坏力越大——但与此同时，它们也蕴藏着更多的秘密。所以物理学家想了很多办法来将粒子的速度推向极限。他们先发明了静电加速器，后来又制造出了直线加速器，这种设备内部有一系列电场，每个电场都会让粒子的速度变快一点点。

电极携带的电荷与粒子的电性相反，在引力的作用下，粒子飞速

靠近电极板。电极板上有一个洞，就在粒子穿过洞口的一瞬间，电极的电性会发生改变，此时粒子在斥力的作用下继续加速，飞向下一块电极板——这个过程在直线加速器内部不断循环重复，粒子的速度也越来越快。

随后物理学家发明了回旋加速器，它的原理与直线加速器一样，只不过整套装置被弯成了环形。研究者利用电磁铁将粒子引入回旋加速器，这些粒子在加速器里一圈又一圈地旋转，速度变得越来越快，最终，粒子携带的能量可达1500万电子伏（eV）。同步加速器是回旋加速器的晋阶版本，这种加速器内部的磁场可以与运行中的粒子束保持同步。

大型强子对撞机（LHC）

-

从理论上说，强子是由夸克通过强作用力捆绑在一起的复合粒子。质子——氢原子核（H^+）——就是一种强子。物理学家建造大型强子对撞机的初衷是利用直线加速器和同步加速器加速强子，尤其是质子。

LHC位于法国和瑞士边境地下约328英尺（约100米）处的一条环形隧道里，这条隧道宽约12英尺（约3.7米），长达17英里（约27千米）。隧道里安装了一对直径约4英寸（10厘米）的管子，粒子束就在这两根管子里运动。其中一束粒子沿顺时针方向运动，另一束的运动方向与它相反。两根管子组成了一个巨大的同步加速器。

进入管道之前，质子需要先经过一个直线加速器和三个连续的同步加速器；而在进入管子以后，质子将得到进一步加速，20分钟后，它们将达到99.999999%光速——也就是说，这些质子每秒运动的距离只比光少3米，此时它们携带的能量达到了大约4亿电子伏（想想看，当年戴维森和革末使用的粒子能量只有50电子伏）。每个质子每

秒将围绕16.7英里（约27千米）长的隧道转动11000圈。

1600套超导磁铁约束和引导着粒子的方向，每套磁铁自重近30吨，96吨液氦让它们始终保持着1.9K（-456℉或-271℃）的超低温度。

隧道内有4个交点，两条加速管在这几个位置汇合到一起，好让对向高速运动的质子发生碰撞。每个交点周围都安置了各种各样的探测器，以便检测粒子碰撞后的反应并观察它们产生的碎片。

对撞机全功率运行时，管内每秒都会发生数百万次碰撞，每次碰撞都会产生几道粒子束，探测器会自动记录这些粒子的轨迹，有点像是高科技版本的云室。然后，海量的数据通过一套复杂的计算网络被分配到36个国家的170台计算机里，完成下一步的分析。

2009年11月23日，LHC进行了第一次试撞，接下来的几个月里，这台巨型设备一直在全功率运行。

目标

-

物理学家希望确认希格斯玻色子是否真的存在，除此以外，他们还想解开粒子物理学领域的其他重大谜团——比如说，寻找宇宙中27%的神秘“暗物质”和“超对称理论”预测的新粒子。

结果

-

目前，研究者已经发现了几种新的复合强子。他们还观察到了一种夸克-胶子等离子体，科学家认为，在大爆炸刚刚发生后的几毫秒内，宇宙完全是由这种“夸克汤”组成的。除此以外，他们还观察到了

一种罕见的粒子衰变，这为超对称理论的反对者提供了有力的证据。最重要的是，他们看到了神秘的希格斯玻色子存在的证据。



索引

Alexander the Great 亚历山大大帝

Alhazen 海什木

Ampère, André-Marie 安德烈-马里·安培

Anderson, Carl 卡尔·安德森

Arago, Francois 弗朗索瓦·阿拉戈

Aston, Francis William 弗朗西斯·威廉·阿斯顿

Avogadro, Amedeo 阿梅代奥·阿伏伽德罗

Baade, Walter 沃尔特·巴德

Banks, Joseph 约瑟夫·班克斯

Becquerel, Antoine Henri 安东尼·亨利·贝克勒尔

Bell, Susan Jocelyn 苏珊·约瑟琳·贝尔

Bertha, Anna 安娜·柏莎

Black, Joseph 约瑟夫·布莱克

Blackett, Patrick 帕特里克·布莱克特

Bradley, James 詹姆斯·布拉德雷

Bragg, William Henry 威廉·亨利·布拉格

Bragg, William Lawrence 威廉·劳伦斯·布拉格

Brahe, Tycho 第谷·布拉赫

Burnell, Jocelyn 约瑟琳·伯奈尔

Carter, Brandon 布兰登·卡特

Cassini, Giovanni Domenico 乔凡尼·多美尼科·卡西尼

Cavendish, Henry 亨利·卡文迪许

Clausius, Rudolf 鲁道夫·克劳修斯

Compton, Arthur 阿瑟·康普顿

Conduitt, John 约翰·康杜特

Copernicus, Nicolaus 尼古拉斯·哥白尼

Crookes, William 威廉·克鲁克斯

Curie, Pierre 皮埃尔·居里

Daguerre, Louis-Jacques 路易斯-雅克·达盖尔

Davidson, Charles 查尔斯·戴维森

Davisson, Clinton 克林顿·戴维森

Davy, Humphry 汉弗里·戴维

de Broglie, Louis 路易·德布罗意

Descartes, Rene 勒内·笛卡儿

Dicke, Robert 罗伯特·迪克

Dirac, Paul 保罗·狄拉克

Dyson, Frank Watson 弗兰克·沃森·戴森

Eddington, Arthur 阿瑟·爱丁顿

Edison, Thomas 托马斯·爱迪生

Elsasser, Walter 瓦尔特·爱尔沙色

Empedocles 恩培多克勒

Eratosthenes 埃拉托斯特尼

Euclid 欧几里得

Everett, Hugh 休·艾弗雷特

Fermi, Enrico 恩里科·费米

Feynman, Richard 理查德·费曼

Fizeau, Hippolyte 希波莱特·斐索

Fletcher, Harvey 哈维·弗莱彻

Foucault, Leon 莱昂·傅科

Franck, James 詹姆斯·弗兰克

Franklin, Benjamin 本杰明·富兰克林

Friedman, Alexander 亚历山大·弗里德曼

Galvani, Luigi 路易吉·伽伐尼

Geiger, Johannes Wilhelm 汉斯·盖革

Geissler, Heinrich 海因里希·盖斯勒

Gerlach, Walther 瓦尔特·格拉赫

Germer, Lester 雷斯特·革末

Gilbert, William 威廉·吉尔伯特

Goldstein, Eugen 欧根·戈尔德斯坦

Goudsmit, Samuel 塞缪尔·高斯密特

Guericke, Otto von 奥托·冯·居里克

Hafele, Joseph 约瑟夫·哈菲尔

Halley, Edmond 爱德蒙·哈雷

Hawking, Stephen 史蒂芬·霍金

Hertz, Gustav Ludwig 古斯塔夫·路德维希·赫兹

Hess, Victor 维克多·赫斯

Hewish, Antony 安东尼·休伊什

Higgs, Peter 彼得·希格斯

Hooke, Robert 罗伯特·胡克

Hoyle, Fred 弗雷德·霍伊尔

Hubble, Edwin 爱德文·哈勃

Hutton, Charles 查尔斯·赫顿

Huygens, Christiaan 克里斯蒂安·惠更斯

Joule, James Prescott 詹姆斯·普雷斯科特·焦耳

Keating, Richard 理查德·基廷

Kelvin, William Thomson, Baron 威廉·汤姆森·开尔文男爵

Laplace, Pierre-Simon 皮埃尔-西蒙·拉普拉斯

Lavoisier, Antoine 安东尼·拉瓦锡

Lemaitre, Henri 亨利·勒梅特

Lenard, Philip 菲利普·莱纳德

Marsden, Ernest 欧内斯特·马士登

Maskelyne, Nevile 内维尔·马斯基林

Mason, Charles 查尔斯·曼森

Maurer, Stephen 史蒂芬·莫勒

Mayor, Michel 米歇尔·梅耶

Michell, John 约翰·米切尔

Michelson, Albert A. 阿尔伯特·A. 迈克尔逊

Millikan, Robert Andrews 罗伯特·安德鲁斯·密立根

Minkowski, Hermann 赫尔曼·闵可夫斯基

Mlodinow, Leonard 列纳德·蒙洛迪诺

Morgan, John Pierpont 约翰·皮尔庞特·摩根

Morley, Edward W. 爱德华·W. 莫雷

Norman, Robert 罗伯特·诺曼

Onnes, Heike Kamerlingh 海克·卡末林·昂内斯

Oort, Jan 扬·奥尔特

Orsted, Hans Christian 汉斯·克里斯蒂安·奥斯特

Pascal, Blaise 布莱兹·帕斯卡

Pasteur, Louis 路易·巴斯德

Pauli, Wolfgang 沃尔夫冈·泡利

Peebles, Jim 吉姆·皮布尔斯

Penzias, Arno Allan 阿诺·阿兰·彭齐亚斯

Perier, Florin 弗罗林·佩里埃

Perlmutter, Saul 索尔·珀尔马特

Planck, Max 马克斯·普朗克

Pollacco, Don 唐·波勒

Power, Henry 亨利·鲍尔

Ptolemy, Claudius 克劳狄乌斯·托勒密

Queloz, Didier 迪迪埃·奎洛兹

Rabi, Isidor 伊西多·拉比

Ramsey, Norman F. 诺曼·F. 拉姆齐

Rees, Martin 马丁·里斯

Rhodes, Richard 理查德·罗兹

Riess, Adam 亚当·里斯

Romer, Ole 奥勒·罗默

Rontgen, Wilhelm Conrad 威廉·康拉德·伦琴

Rubin, Vera 薇拉·鲁宾

Rumford, Benjamin Thompson, Count 本杰明·汤普森·伦福德伯爵

Sakharov, Andrei Dmitrievich 安德烈·德米特里耶维奇·萨哈罗夫

Schmidt, Brian P. 布莱恩·P. 施密特

Schrodinger, Erwin 埃尔温·薛定谔

Schuster, Arthur 阿瑟·舒斯特

Schwarzschild, Karl 卡尔·史瓦西

Sommerfeld, Arnold 阿诺德·索末菲

Sprengel, Hermann 赫尔曼·斯普伦格尔

Stern, Otto 奥托·施特恩

Stukeley, William 威廉·斯蒂克利

Szilard, Leo 利奥·西拉德

Tamm, Igor Yevgenyvich 伊戈尔·叶夫根耶维奇·塔姆

Tesla, Nikola 尼古拉·特斯拉

Thales (mathematician) 泰勒斯（数学家）

Theodoric of Freiberg 弗莱贝格的狄奥多里克

Thomson, Joseph John 约瑟夫·约翰·汤姆森

Towneley, Richard 理查德·汤利

Uhlenbeck, George 乔治·乌伦贝克

Volta, Alessandro 亚历山德罗·伏特

Wallace, Alfred Russel 阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士

Watt, James 詹姆斯·瓦特

Westinghouse, George 乔治·威斯汀豪斯

Wilkinson, David 大卫·威尔金森

Wilson, Rees 里斯·威尔逊

Wilson, Robert Woodrow 罗伯特·伍德罗·威尔逊

Wollaston, William Hyde 威廉·海德·沃勒斯顿

Wren, Christopher 克里斯多佛·雷恩

Young, Thomas 托马斯·杨

Zhang Heng 张衡

Zwicky, Fritz 弗里茨·兹威基

词汇表

α 粒子（alpha particle）——氦原子核，由2 个质子和2个中子组成。

蓝移（Blueshift）——波长变短或频率升高。

阴极射线（Cathode rays）——真空中阴极产生的电子流。

暗物质（Dark matter）——一种看不见的物质，大约占据宇宙总质量的84.5%。

事件视界（Event horizon）——黑洞的边界，任何东西都可以从外部进入事件视界，却无法从里面出来，甚至包括光（不过黑洞的确会释放少量辐射，我们称之为“霍金辐射”）。

系外行星（Exoplanet）——太阳系以外的行星，它们围绕其他恒星旋转。

惯性参考系（Inertial frame of reference）——静止或匀速直线运动的参考系，它没有加速度。

M 理论（M-theory）——粒子物理领域的一种理论，由“弦论”发展而来。这套理论试图解释宇宙中的所有粒子和能量。

光电效应（Photoelectric effect）——一些金属在受到光照时会释放出电子。

光子（Photon）——光能单位；一小包光波。

等离子体（Plasma）——物质主要有三种态：固态、液态和气态。等离子体是第四种态，在这种状态下，所有粒子都是离子化的（比如说，火焰就是一种等离子体）。

多相系统（Polyphase）——利用三个以上的电导体分配交变电流的系统。

正电子（Positron）——一种反物质粒子，它的性质类似电子，但携带的是正电荷。

红移（Redshift）——波长变长或频率降低。

闪烁（Scintillation）——粒子击中荧光屏发出的闪光。

SI 单位（SI units）——国际度量单位。

光谱仪（Spectrometer）——测量原子光谱的设备。

自旋（Spin）——量子力学体系下粒子的角动量。

量子态叠加（Superposition）——根据量子力学的哥本哈根诠释，一个粒子可以同时处于两个或两个以上的位置。

超对称性（Supersymmetry）——粒子物理标准模型的扩展，它预测了每种粒子都有相应的对称粒子。

热电偶（Thermocouple）——一种测量温度的设备，由两种不同的金属连接组成。

铀（Uranium）——一种放射性金属重元素

致谢

非常感谢西尔维亚·朗格弗德邀请我撰写本书，让我有机会写一写这么多老朋友；尤其感谢斯拉夫·托多罗夫和迈克尔·贝里爵士，他们帮助我攻克了相对论的难关；感谢我曾经的同事保罗·贝德、马蒂·约普森和约翰·弗朗卡斯，是你们让我认识了这么多古代的科学家。



未读 Club

为读者提供有温度、有质量、有趣味的
泛阅读服务



专属社群 独家福利
精品共读 活动特权

手机扫码
加入未读 Club 会员计划